



Pedagogická  
fakulta  
Faculty  
of Education

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

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Pedagogická fakulta  
Katedra fyziky

## Bakalářská práce

**Metodika a techniky obloukového svařování hliníku a jeho slitin se  
zaměřením na WIG technologie užívané v EGE s. r. o. a nové související  
normy EN a ISO**

Vypracoval: Petr Schandl  
Vedoucí práce: PaedDr. Bedřich Veselý, Ph.D.

České Budějovice 2015

## **Anotace**

V úvodu práce je provedena rešerše dostupné literatury, poté následuje teorie svařování. V praktické části práce jsou popsány svařovací metody, jejich princip, popis a oblasti použití jednotlivých druhů svařování hliníku a jeho slitin, stanoveny optimální technologie svařovaných ploch a jejich příprava, volby technologie a metod svařování. V závěru práce je detailně popsána technika ručního a strojního svařování WIG a základní sestava pro svařování WIG stejnosměrným a střídavým proudem.

**Klíčová slova:** svařování hliníku, svařitelnost, svar, značky, wolframová elektroda, svařovací metoda WIG, svařovací hořáky.

## **Abstract**

In the introduction to the thesis a research of the available literature has been done, and after that the theory of welding follows.

In the practical part, welding methods and their principles are described. And then the description and fields of use of the particular types of aluminium welding and welding of aluminium alloys follow. Also, optimal techniques of welded surfaces and their preparation, the choice of techniques and welding methods are dealt with.

In conclusion, the details of hand welding and WIG machine welding and the basic set for WIG welding with direct or alternating current are described.

**Keywords:** aluminium welding, weldability, weld (joint), marks, tungsten electrode, WIG welding method, welding torches

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Metodika a techniky svařování hliníku a jeho slitin se zaměřením na technologie užívané v EGE s.r.o. a nové související normy podle EN a ISO vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

České Budějovice 11. června 2015

.....

podpis studenta

## **Poděkování**

Děkuji tímto panu PaedDr. Bedřichu Veselému, Ph.D. za cenné rady a připomínky, za odborné vedení mé práce a vstřícný přístup. Dále děkuji firmě EGE, s. r. o. za poskytnuté informace a konzultace.

# Obsah

Úvod .....	8
1. Cíle práce .....	9
1.1. Teoretické cíle práce.....	9
1.2. Praktické cíle práce.....	9
1.3. Pedagogické cíle práce .....	9
2. Základní pojmy.....	10
3. Způsoby svařování .....	11
3.1. Svařování za působení tepla (tavné) .....	11
3.1.1. Plamenové svařování .....	11
3.1.2. Svařování elektrickým obloukem (obloukové svařování) .....	12
3.1.3. Zvláštní způsoby tavného svařování .....	16
3.2. Značení svarů na výkresech .....	19
4. Hliník a jeho slitiny .....	27
4.1. Výroba a vlastnosti čistého hliníku .....	27
4.2. Značení hliníku a jeho slitin .....	28
4.3. Rozdělení hliníkových slitin .....	30
4.3.1. Postup při vytvrzování Al slitin .....	31
4.4. Svařitelnost technického hliníku a jeho slitin .....	32
4.4.1. Podmínky svařitelnosti .....	32
4.5. Tepelné zpracování.....	34
5. Elektrický oblouk.....	37
5.2. Stabilita oblouku.....	38
6. Technologie svařování elektrickým obloukem WIG a MIG.....	39
6.1. Svařování odtavující se kovovou elektrodou v inertním plynu MIG .....	42
6.2. Svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu WIG .....	46
6.2.1. Postup při svařování WIG .....	47
6.2.2. Technika ručního svařování WIG.....	51

6.2.3.	Strojní svařování WIG .....	57
6.3.	Doporučení pro praxi .....	60
6.3.1.	Ochranné plyny .....	62
6.3.2.	Základní sestava zařízení pro svařování WIG stejnosměrným proudem .....	63
6.3.3.	Zařízení na svařování WIG střídavým proudem .....	65
6.3.4.	Svařovací hořáky WIG .....	66
7.	Závěr .....	70
8.	Vyhodnocení stanovených cílů a přínos práce .....	71
9.	Informační zdroje .....	72
10.	Přílohy .....	74
	Příloha č. 1 .....	74
	Příloha č. 2 .....	75
	Příloha č. 3 .....	76
	Příloha č. 4 .....	77
	Příloha č. 5 .....	78
	Příloha č. 6 .....	79
	Příloha č. 7 .....	80
	Příloha č. 8 .....	81
	Příloha č. 9 .....	82

## Úvod

Tématem bakalářské práce je metodika a techniky obloukového svařování, zaměřená zejména na svařovací metodu WIG (TIG), která v současné době patří mezi nejprogresivnější.

Svařování můžeme vnímat jako značně rozšířenou a stěžejní technologii zpracování materiálu. Uplatňuje se ve strojírenské výrobě různých součástek, které by se jinak musely vyrobit složitější a nákladnější technologií, jako je například lití, obrábění apod. V praxi se používají rozebíratelná a nerozebíratelná spojení strojních součástí. Nerozebíratelná spojení se provádí pomocí pájení, nýtování, lepení a svařování, jejich cílem je vyrobit nerozebíratelné spojení svou a více určitých povrchů dílů za určitých vlastností svaru. Toto spojení vzniká pomocí soustředěného tepla a tlaku s použitím, nebo bez použití přídavného materiálu. Působením meziatomových sil a vazeb na teplem a tlakem aktivovaných plochách vznikne spojení.[3] [4]

Při svařování elektrickým obloukem s použitím ochranných plynů je nutné dodržovat celou řadu bezpečnostních opatření, jako je ochrana před úrazem elektrickým proudem a popálením, vznikem dýmových zplodin a požáru, může dojít k udušení. Při práci na robotizovaném pracovišti je důležitá ochrana před úrazem pohyblivými částmi. Nedoporučuje se používat netavící se wolframové elektrody legované oxidy thoria, protože thorium je radioaktivní prvek. Při hoření dlouhého stabilního elektrického oblouku dochází ke vzniku UV záření, které má neblahý vliv na zdraví člověka.

Při svařování korozivních ocelí v ochranné atmosféře argonu může docházet ke vzniku ozónu, jehož množství lze regulovat použitím směsi ochranné atmosféry argonu s oxidem dusným. Oxid dusný se slučuje s ozónem za vzniku oxidu dusičitého. Jelikož se kromě inertních plynů používá ke svařování některých slitin i vysoce hořlavý a výbušný vodík, je nutné dbát na zvýšenou bezpečnost při manipulaci a přepravě tlakových lahví.

Kvalitu svarů ovlivňuje základní a přídavný materiál, ochranné plyny, klimatické podmínky svařování, technologický postup a lidský faktor. Při správném technologickém postupu při svařování, použití vhodné plynové ochrany dává metoda svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu vynikající kvalitní výsledky. [2]

# 1. Cíle práce

## 1.1. Teoretické cíle práce

- Vyhledání vhodné literatury a provedení její rešerše. Výběr, analýza a utřídění získaných dat z literatury.
- Definice a vysvětlení základních pojmů při svařování hliníku a jeho slitin.

## 1.2. Praktické cíle práce

- Analýza technologií pro svařování hliníku a jeho slitin.
- Vymezení poloh při svařování a značení svarů na výkresech.
- Definování druhů slitin hliníku vhodných pro svařování.
- Charakteristika hliníku a jeho tepelné zpracování.
- Charakteristika svařování elektrickým obloukem (zapálení oblouku a jeho stabilizace), svařovací zdroje.
- Analýza postupu svařovací metody WIG (výhody, nevýhody, problémy).

## 1.3. Pedagogické cíle práce

- Celý text i vyobrazení podat názorně a srozumitelně, tak aby byl dobře použitelný ve výuce.



## 2. Základní pojmy

**Základní materiál** je materiál součásti nebo jeho dílů, které jsou svařovány. Jeho charakteristickou vlastností je jeho složení, stav struktury a tloušťka svarového materiálu.

**Přídavný materiál** je materiál, který se během svařování přidává do svarové lázně. Používá se ve tvaru drátu, tyčinek, elektrod nebo prášku a je odtavován zdrojem tepla použitého k tavnému svařování.

**Svarová lázeň** je tvořena okamžitým objemem roztaveného kovu základního a popř. přídavného materiálu v místě svařování. Při svařování dochází k postupnému tuhnutí a ochlazení svarové lázně a ztuhlý svarový kov vytváří postupně svar – svarovou housenku.

**Svarový spoj** je tvořen vlastním svarem a tepelně ovlivněnou oblastí. Svarovým spojem rozumíme spoj dvou nebo více částí svarem.[8]

**Svarová mezera** je prostor mezi dvěma díly, který je vymezený pro provaření kořene tupých svarů.

**Svarový kov** je materiál, který je dodáván do svaru z přídavného materiálu.

**Oblast ztavení** je na rozhraní základního materiálu a svarového kovu, dochází zde k promíchání svarového kovu a základního materiálu.

**Úkos** je plocha, upravena na základním materiálu, který je silnější než 3 mm.

**Úhel rozevření** je součet úhlů úkosových ploch.

**TOO** je tepelně ovlivněná oblast, nejvíce náchylná oblast na strukturální změny v materiálu během svařování.

**Kořen svaru** je základní průvarová vrstva, má největší vliv na pevnostní kvalitu svaru.

**Výplňová vrstva** je mezivrstva u vícevrstvých svarů.

**Krycí vrstva** je poslední svarová vrstva z pohledové strany.

**Obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu** spočívá ve vzniku a hoření elektrického oblouku mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem, přičemž je svarová lázeň, elektroda a nejbližší okolí svaru chráněno inertním plynem před účinky okolní atmosféry. [13]

**Netavící se elektroda** je z čistého wolframu nebo s aktivující přísadou oxidů thoria, lanthanu, ceru, zirkonu nebo yttria. Přísada oxidů těchto prvků snižuje teplotu ohřevu wolframové elektrody, zvyšuje životnost a zlepšuje zapalování oblouku i jeho stabilitu. Jako ochranný plyn se používá argon, hélium nebo jejich směsi. [13]

### 3. Způsoby svařování

Podle polohy hořáku, svařovacího drátu a postupu hořáku při svařování, rozeznáváme **levosměrný** (doleva, dopředu) a **pravosměrný** (doprava, dozadu) způsob svařování. Svary mají být namáhány na tah nebo tlak, nikdy na ohyb. Je dobré vyhnout se vnitřním koutovým svarům. [14]

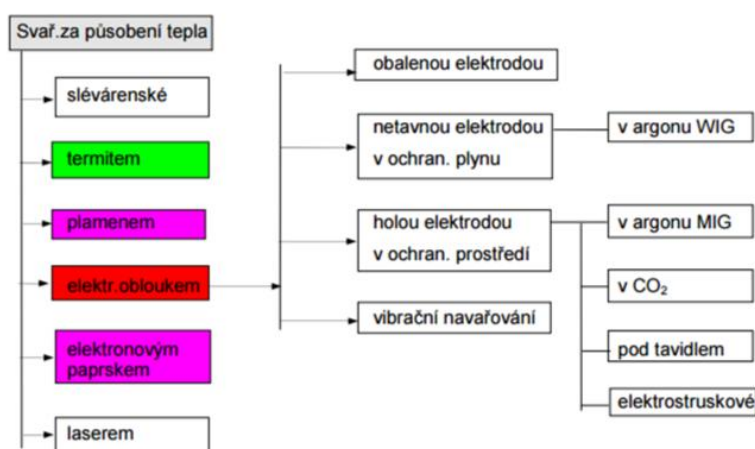
Svařovat lze v poloze vodorovné, svislé nad hlavou. Pro snazší svařování se používá různých polohovadel (svařovacích přípravků). [14]

#### Způsoby svařování

- Za působení tepla (tavné)
- Za působení tepla a tlaku
- Za působení tlaku (tlakové)

#### 3.1. Svařování za působení tepla (tavné)

Při tomto způsobu svařování dochází ke spojení místním natavením svarových ploch, aniž by bylo použito tlaku nebo rázů. Obvykle se používá přídavný materiál stejného nebo podobného složení jako má základní materiál. Roztavený materiál tvoří tavnou (svarovou) lázeň. [14]

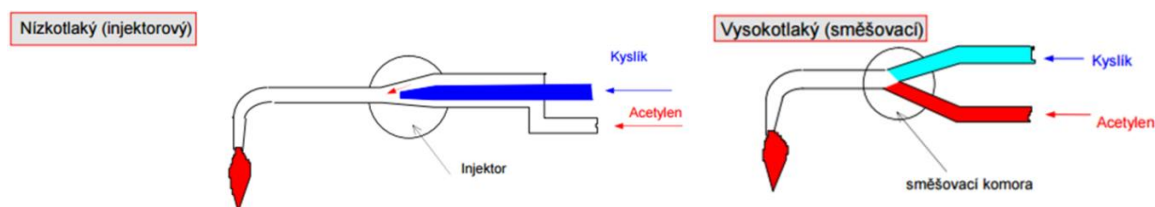


Obrázek 1. Způsoby svařování za tepla [37]

##### 3.1.1. Plamenové svařování

U tohoto „tradičního“ svařování je zdrojem tepla plamen, který vzniká spalováním směsi hořlavého plynu (acetylen) a kyslíku. Místo acetyleny se používají i jiné plyny jako je např. vodík, propan apod.

**Svařovací souprava** se skládá z **láhví** opatřených **lahvovým ventilem**, **redukčním ventilem** různých konstrukcí, aby nebyla možná jejich záměna, mají **obsahový a pracovní manometr**, hadice pro kyslík a ochranný plyn, **svařovacích hořáků** a **příslušenství**. [14]



**Obrázek 2** Svařovací hořáky pro plamenové svařování[37]

### **Příprava materiálu pro plamenové svařování**

Aby vznikly kvalitní sváry, je nutné svarovou plochu očistit od různých barev, rzi apod. Svarové plochy se upravují podle tloušťky materiálu tak, aby bylo zajištěno dokonalé provaření. Úkosy se zhotovují hoblováním, drážkovacími nebo řezacími hořáky a frézováním.

Tvary a rozměry svarových ploch pro plamenové svařování jsou uvedeny v ČSN.

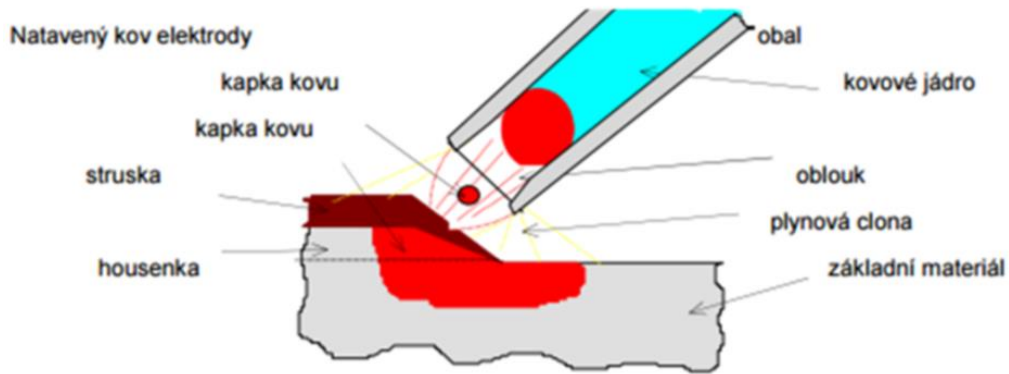
#### **3.1.2. Svařování elektrickým obloukem (obloukové svařování)**

Elektrody mohou být netavené nebo tavné. **Netavené** (uhlíkové, wolframové) elektrody slouží jako prostředek k vytvoření oblouku a neposkytují svarový kov. **Tavné** elektrody mají většinou stejné složení jako svarový materiál, teplem oblouku se odtavují a dodávají do svaru přídavný kov.

**Elektrody** mohou být **holé** (drát) – používají se při svařování v ochranné atmosféře, nebo pod tavidlem, nebo obalené. Úkolem obalu je stabilizovat oblouk, chránit svarový kov před účinky atmosféry, zpomalit chladnutí svaru vytvořenou struskou a dodat do svarové lázně některé přísadové prvky (Ni, Cr, Mo, aj.)

### a) Svařování elektrickým obloukem obalenou elektrodou

Teplem oblouku se taví svařovaný materiál, kovové jádro, elektrody i obal. Vzniklá struska chrání odtavované kapky kovu před škodlivými účinky vzduchu tím, že kapky kovu obaluje a vytvoří plynovou clonu, která zabraňuje přístupu vzduchu ke kapkám kovu.



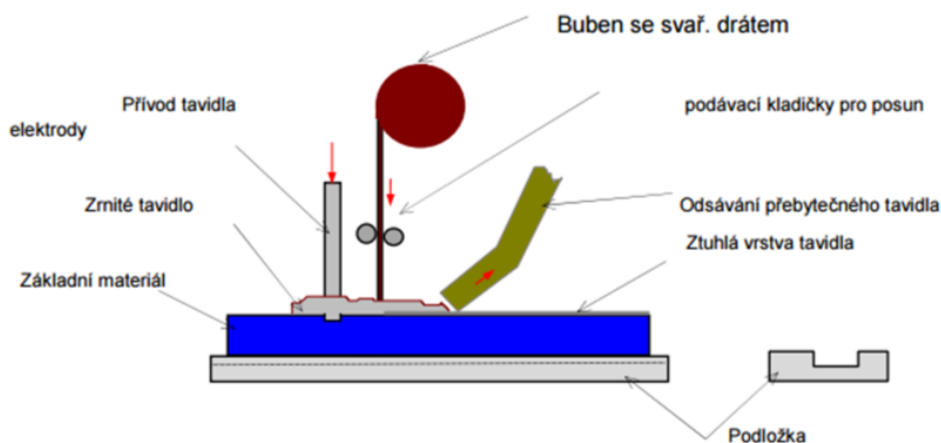
**Obrázek 3** Svařování elektrickým obloukem obalenou elektrodou [37]

### b) Svařování elektrickým obloukem v ochranném prostředí

#### Svařování pod tavidlem

Elektrický oblouk hoří mezi odtavující se elektrodou – holý drát, který se odvíjí z bubnu a základním materiálem pod vrstvou zrněného anorganického tavidla. Elektrický oblouk i svarová lázeň jsou dokonale chráněny před účinky atmosféry.

Svařuje se automaticky, stejnosměrným i střídavým proudem. Musí být provedena dokonalá úprava a čistota návarových ploch.



**Obrázek 4** Svařování pod tavidlem [37]

## Elektrostruskové svařování

Používá se pro svařování materiálů větších tloušťek než 50 mm. Elektroda (holý drát) zasahuje do tavidla, které je v pevném skupenství nevodivé. Po zažehnutí oblouku začne tavidlo měnit své skupenství, a tím postupně nabývá elektrické vodivosti. Po určité době oblouk zanikne, tekuté tavidlo je zahříváno odporově. Teplem strusky se odtavují konce elektrody a natavuje se svařovaný materiál. [14]

### c) Svařování elektrickým obloukem v ochranném plynu

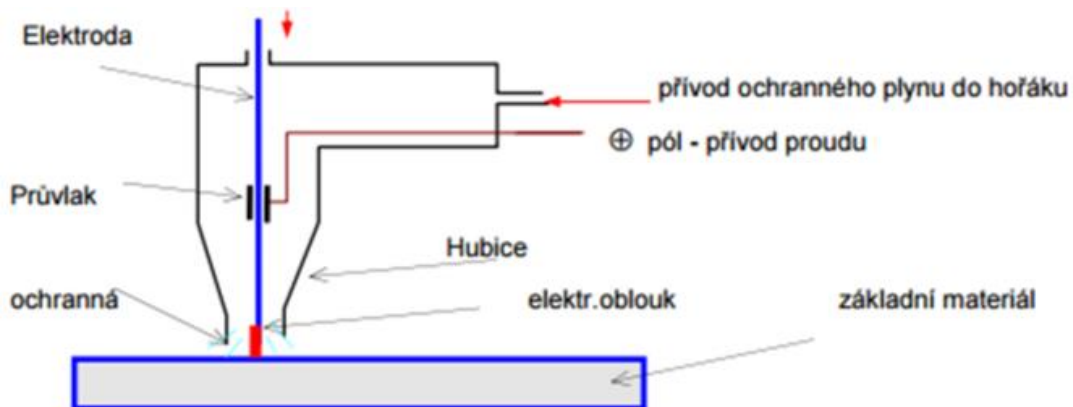
Oblouk a natavený kov je obklopen umělou atmosférou, vytvořenou vhodným ochranným plynem. Podle použitého ochranného plynu a podle použité elektrody rozlišujeme i způsoby svařování:

**MIG** – Metal Inert Gas (svařování tavnou kovovou elektrodou v inertním plynu),

**MAG** – Metal Aktiv Gas (svařování tavnou kovovou elektrodou v aktivním plynu),

**WIG** – Wolfram Inert Gas (svařování tavnou kovovou elektrodou v inertním plynu).

Tyto metody mají i různé modifikace a označení zkratkou (např. MIGp – svařování MIG pulzním obloukem – německý název).



**Obrázek 1** Svařování elektrickým obloukem v ochranném plynu [37]

### Svařování v ochranné atmosféře argonu netavenou elektrodou WIG

Elektrický oblouk hoří mezi wolframovou elektrodou a svařovaným materiálem v proudu netečného plynu argonu, helia, nebo jejich směsí. Netečný plyn chrání svarový kov před přístupem vzduchu a zvyšuje stabilitu elektrického oblouku, protože má nízké ionizační napětí. [14]

Svařuje se většinou ručně. Hliník, hořčík a jeho slitiny střídavým proudem, ocel, měď, titan a jejich slitiny stejnosměrným proudem. Svařuje se bez přídavného materiálu nebo s přídavným materiálem, který je do svařovacího obvodu přiváděn ručně nebo podavačem drátu. [14]

U wolframové elektrody se její špička při svařování nataví, thoriová elektroda zůstává v pevném stavu.

Zapojí-li se elektroda na kladný pól zdroje (obrácená polarita), dopadají kladně nabití ionty argonu na povrchovou vrstvu oxidu, kterou rozruší – čistí. Závar je mělký a široký, elektroda tlustá.

Při zapojení na záporný pól zdroje (přímá polarita) nemá argon čistící účinek. Závar je úzký, hluboký a elektroda tenká.

Metoda WIG se používá při svařování žárovevých, korozivzdorných, vysokolegovaných ocelí, lehkých kovů a jejich slitin, mosazí a niklu.

### **Svařování v ochranné atmosféře argonu tavnou elektrodou MIG**

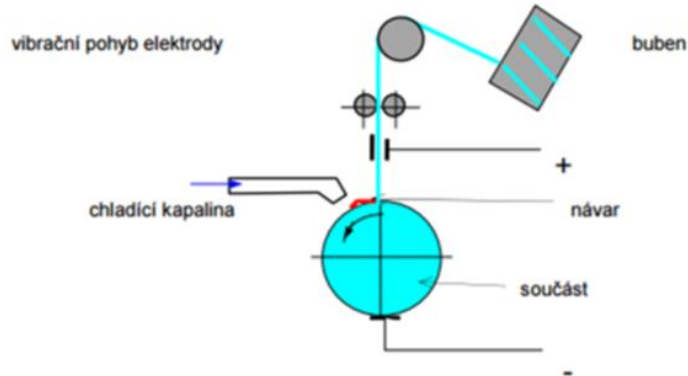
Elektrický oblouk hoří mezi kovovou tavnou elektrodou a svařovaným materiálem v proudu netečného plynu argonu nebo helia nebo jejich směsi. Elektroda – tavný drát je postupně dodávána do místa svaru.

Zařízení pro MIG svařování je shodné se svařováním MAG, rozdíl je v ochranné atmosféře. Směsný plyn zajistí rychlý ohřev, dostatečnou tekutost a náležité odplynění roztaveného kovu.

Svařuje se stejnosměrným proudem při kladné polaritě elektrody, poloautomaticky nebo automaticky. Metodou MIG se svařují materiály tloušťky 30 až 50 mm. Používá se na svařování hliníku, mědi, titanu a dalších neželezných kovů. [14]

#### d) Obloukové vibrační svařování

Tento způsob svařování používám při renovaci opotřebovaných součástí. Automaticky se navařuje vrstva tloušťky asi 3mm, kde se elektroda – holý drát odvíjí z bubnu a vykonává kmitavý pohyb o frekvenci 50 až 100 Hz. Elektrický oblouk je neustále zapalován a zhasen. Návar je chlazen roztokem kalcinované vody. Napětí zdroje je 6 – 12 V.



Obrázek 6. Vibrační navařování [37]

### 3.1.3. Zvláštní způsoby tavného svařování

#### a) Svařování elektronovým paprskem

Svazek elektronů vysílaný rozžhavenou wolframovou elektrodou je urychlován napětím 150 kV mezi katodou a anodou. Rychlost elektronů může dosáhnout až  $165\,000\text{ km s}^{-1}$ . Elektrony dopadají na svařovaný materiál a jejich kinetická energie se mění na tepelnou, průměr elektronového paprsku je 0,1 až 0,2  $\mu\text{m}$ , a teplota v místě styku dosahuje 5 000 až 6.000 °C. Svar vzniká pohybem svařovaného předmětu ve vakuové komoře a není zde nutný přídavný materiál. Tento způsob svařování se používá v mikrotechnice, letecké a raketové technice, při svařování vysokotavitelných materiálů.

#### b) Svařování laserem

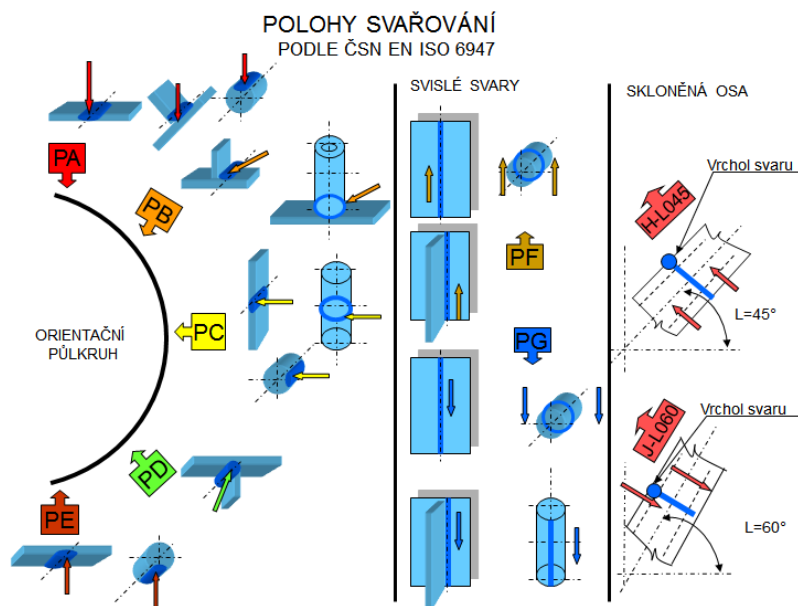
Zdrojem tepla je monochromatické koherentní (souvislé) záření světelných paprsků. Vzniká stimulovanou (vynucenou) emisí v aktivním prostředí laseru. Používá se při svařování malých součástí s vysokým bodem tání.

### **c) Svařování plazmou**

Zdrojem tepla pro natavení vzájemně spojovaných součástí je úzký svazek vysokotlakého plazma o teplotě řádově  $10^4$  °C, který vystupuje nadzvukovou rychlostí z trysky plazmového hořáku. Oblouk se málo rozšiřuje a svarová lázeň je malá. Jako plazmový plyn se používá pro ocel čistý dusík, pro neželezné kovy argon a vodík. Plazmový hořák je chlazen vodou. Svařuje se stejnosměrným i střídavým proudem. Svařovat lze všechny druhy materiálů, které se svařují metodou WIG.



### 3. Značení poloh a druhů svarů



Obrázek 7: Polohy svařování [28]

#### Polohy svařování

PA – poloha vodorovně shora

PB – poloha vodorovně šikmo shora

PC – poloha vodorovná na svislé stěně

PD – poloha šikmo nad hlavou

PE – poloha vodorovně nad hlavou

PG – poloha svislá shora dolů

PF – poloha svislá zesponu nahoru

PH – poloha pro trubky upnuté vodorovně, svařované zesponu nahoru

PJ – poloha pro trubky upnuté vodorovně, svařované shora dolů

H – L045 – trubka se skloněnou osou, svařovaná zesponu nahoru [11]

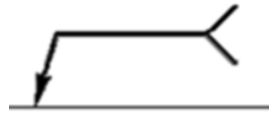
### 3.2. Značení svarů na výkresech

Svarové spoje se označují tak, aby označení odpovídalo všeobecným pravidlům používaným pro technické výkresy. Způsob symbolického označování svarů na technických výkresech je upraven v ČSN EN 22 553.

Označení zahrnuje základní značku, která může být doplněna:

- doplňkovou značkou,
- údajem o rozměru spoje,
- dalšími doplňujícími údaji.

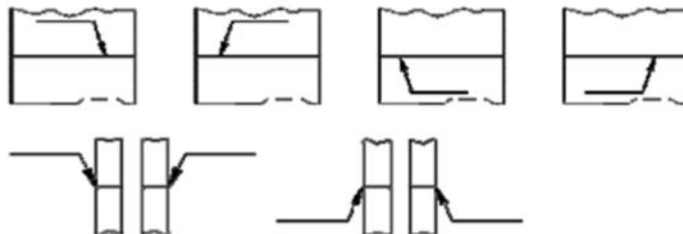
Pokud se neudává druh spoje, ale pouze se vyznačuje, že spoj je svařován nebo pájen, použije se následující značka: [23]



**Obrázek 8:** Poloha odkazové čáry [32]

#### Poloha odkazové čáry

Poloha odkazové čáry nemá zvláštní význam, viz následující příklady:



**Obrázek 9:** Poloha praporečku odkazové čáry [32]

#### Poloha praporečku odkazové čáry

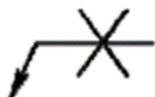
Praporek odkazové čáry se kreslí rovnoběžně se spodním okrajem výkresu. Pokud to není možné, pak kolmo na spodní okraj výkresu.

### Poloha značky vůči praporku odkazové čáry

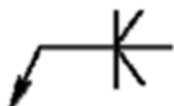
Značka svaru se umísťuje nad nebo pod praporek odkazové čáry dle následujících pravidel:

- je-li povrch praporku na straně odkazové čáry, umísťuje se značka na stranu plné čáry praporku,
- je-li povrch svaru na straně protilehlé k odkazové čáře, umísťuje se značka na stranu identifikační (čárkované) čáry.

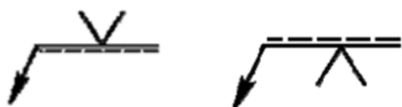
### Označení oboustranně symetrických svarů



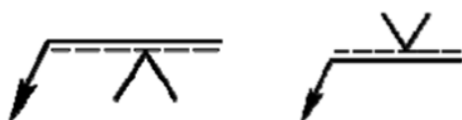
Obrázek 10: Oboustranný V – svar [32]



Obrázek 11: Oboustranný ½ V – svar (K – svar) [32]



Obrázek 12: Povrch svaru je na straně odkazové čáry [32]



Obrázek 13: Povrch svaru je na straně protilehlé k odkazové čáře [32]

### Rozměry svarů

Ke každé značce svaru může být přiřazen určitý počet rozměrů. Tyto rozměry se zapisují následovně:

- vlevo od značky se uvádí hlavní rozměr svaru vztahující se k příčnému řezu svaru,
- vpravo od značky svaru se uvádějí rozměry týkající se délky svaru.



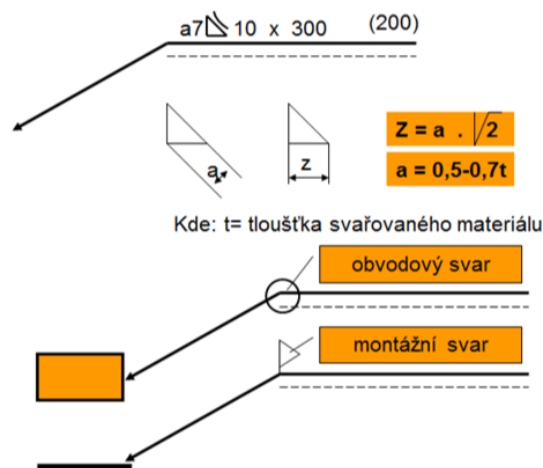
**Obrázek 14:** Označování hlavních rozměrů [32]

**Hlavní zásady při označování svarů:**

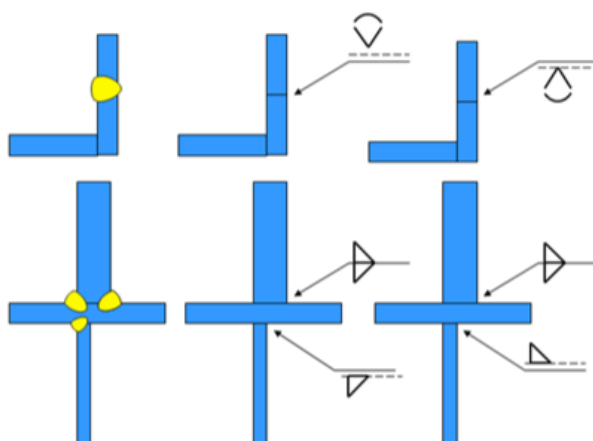
- velikost svaru od okraje dílu se neuvádí v označení svaru, ale na výkrese,
- pokud není za značkou svaru uveden rozměr, znamená to, že svar je proveden po celé délce dílu,
- pokud není uvedena u tupého svaru jeho velikost, je svar proveden v celé tloušťce dílu,
- velikost koutových svarů lze předepsat dvěma způsoby, proto je nutné před odpovídající údaj o velikosti svaru uvést písmeno „a“ nebo „z“, viz Obrázek 15.

Označení má poskytovat všechny potřebné údaje o spoji a je tvořeno základní značkou, která může být doplněna:

- doplňkovou značkou,
- údajem o rozměru spoje,
- několika doplňujícími údaji (zejména u výrobních výkresů).



**Obrázek 15:** Značení svarů na výkresech ČSN EN 22 553 [23]



**Obrázek 16:** Značení svarů na výkresech [23]

Jednotlivé druhy spojů jsou označeny značkou, která vychází z tvaru spoje.

### Základní značky

Základní značky svarů dle ČSN EN 22 553 [23]

	Lemový svar		½ U - svar		Čelní plochý svar
	I - svar		Koutový svar		Návary
	V - svar		Děrový svar		Přeplátovaný spoj
	½ V - svar		Bodový svar		Sdrápkový spoj
	Y - svar		Švový svar		Oblý svar
	Y - svar		V-svar se strmým úkosem		½ Oblý svar
	U - svar		½ V-svar se strmým úkosem		W - svar
					UV - svar

Národní příloha NA (informativní) k ČSN EN 22 553 rozšiřuje soubor základních značek o další značky doplňující.

### Doplňující značky

Základní značka může být doplněna značkou charakterizující tvar povrchu spoje. Pokud není uvedena doplňující značka, znamená to, že se tvar povrchu spoje nepředepisuje.

### Tvar povrchu a kořene svaru

—	Plochý
⤴	Převýšený
⤵	Vydutý
⤵	Opracované přechody
▭ M	Přivařená podložka
▭ MR	Odnímatelná podložka
⤵	Podložení svarem

Doplňující značky svarů [23]

### Umístění značek na výkrese

Značky svarů tvoří pouze část úplného označení, které kromě značky obsahuje:

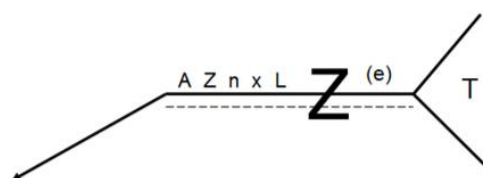
- odkazovou čáru se šipkou,
- praporek odkazové čáry, tvořený dvěma rovnoběžnými čarami, jedné plné a jedné čárkované.

Přerušovaná čára může být umístěna nad nebo pod plnou čárou. U symetrických svarů může být přerušovaná čára vynechána.

Umístění svaru je definováno:

- polohou odkazové čáry,
- polohou praporku odkazové čáry,
- polohou značky svaru.

Odkazová čára a praporek odkazové čáry tvoří označení svaru. Pokud se uvádějí údaje např. o metodě svařování, stupni jakosti, poloze svařování, přídavném materiálu a pomocném materiálu, doplňuje se praporek odkazové čáry na svém konci vidlicí.

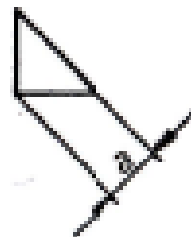
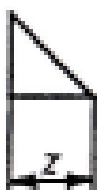


Kde: A - velikost svaru  
Z - značka svaru  
n - počet svarů  
L - délka svaru  
e - mezera mezi svary  
Z - střídavé umístění koutového svaru  
T - technologické informace ke zhotovení svaru

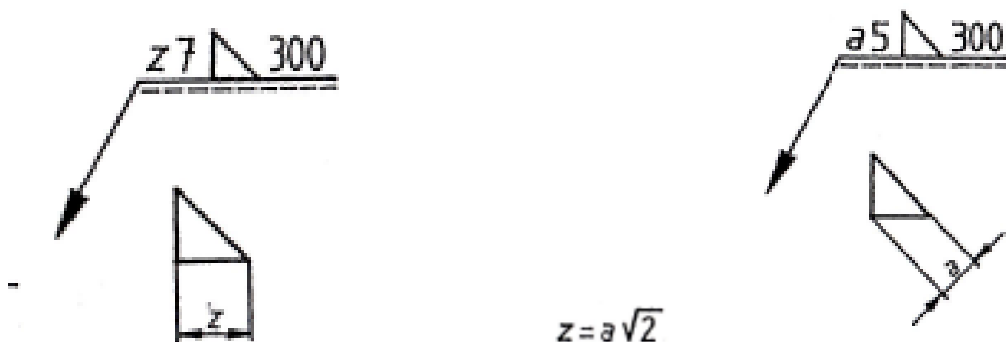
**Obrázek 17:** Způsob označování svarů na výkresech [23]

Jmenovitá výška svaru

Jmenovitá tloušťka svaru

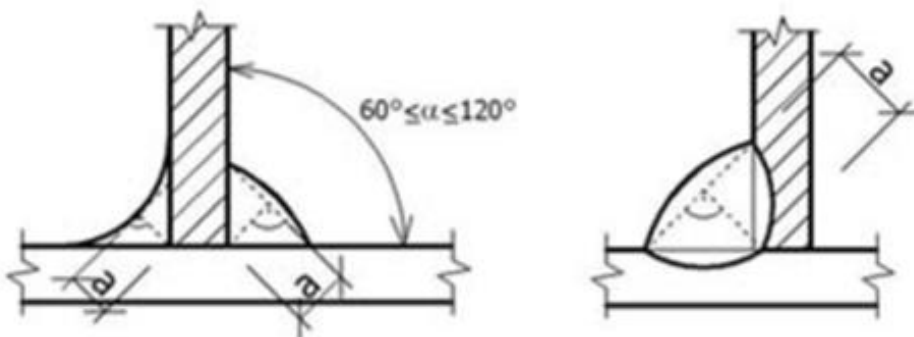


**Obrázek 18:** Označování koutových svarů [1]



**Obrázek 19:** Způsob označování velikosti koutových svarů [1]

U koutových svarů s hlubokým průvarem se udává tloušťka svaru a tj. včetně průvaru.



**Obrázek 20:** Způsob označování koutových svarů s hlubokým průvarem [33]

Minimální účinná tloušťka koutového svaru je 3 mm. Dle ČSN 731401 platí následující tabulka:

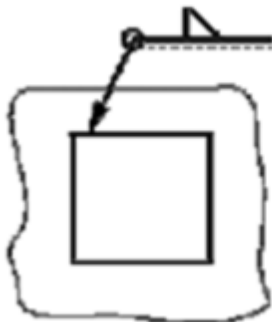
t [mm]	$a_{min}$ [mm]
< 10	3
11 – 20	4
21 – 30	5
> 31	6

**Tabulka 1:** Tloušťky koutových svarů [33]

### Doplňkové značky

Doplňkové značky mohou být použity pro upřesnění dalších údajů o svařech, např.

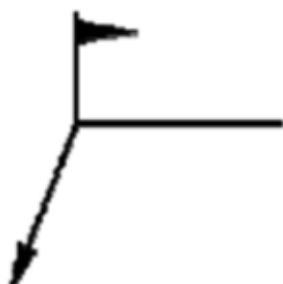
**Obvodový svar**, který má být zhotoven po celém obvodu součásti, se použije jako doplňková značka kružnice (viz Obrázek 21).



**Obrázek 21:** Značka pro obvodový svar [1]

### Montážní svar

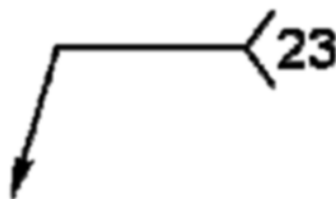
K označení montážních svarů se použije jako doplňková značka praporek (viz Obrázek 22)



**Obrázek 22:** Značka pro montážní tvar [1]

### Označení metody svařování

Pokud je to nutné, označí se metoda svařování číselným označením umístěným do vidlice na konci praporku odkazové čáry (viz Obrázek 23).

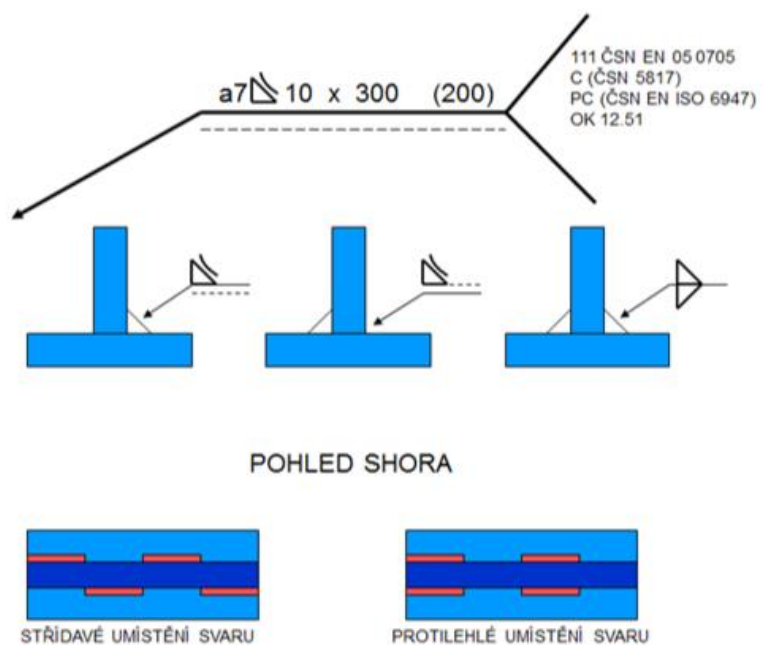


**Obrázek 23:** Označení metody svařování [1]

Údaje o druhu a rozměrech svaru mohou být doplněny dalšími údaji ve vidlici praporku odkazové čáry, a to v následujícím pořadí:



- metoda svařování,
- stupeň jakosti,
- poloha svařování,
- přídavné materiály.



**Obrázek 24:** Příklady značení svarů [23]

## 4. Hliník a jeho slitiny

### 4.1. Výroba a vlastnosti čistého hliníku

V přírodě se hliník vyskytuje v rudách (bauxity) ve formě oxidu hlinitého  $\text{Al}_2\text{O}_3$  s obsahem 50 % až 60 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a vyrábí se pak elektrolýzou taveniny  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a kryolitu. Hliník vyrobený elektrolýzou dosahuje 99,3 až 99,8 % čistoty, která pak závisí na čistotě základních surovin a podmínkách elektrolýzy. Hliník bývá znečištěn vlivem výrobního procesu především železem, křemíkem a mědí, vanadem, titanem a jinými prvky.

Čistý hliník (Al) je stříbrolesklý kov, který krystalizuje v krychlové soustavě s plošně středěnou mřížkou, vyznačuje se malou měrnou hmotností, která je téměř třikrát menší v porovnání s ocelí. Hliník má dobrou elektrickou vodivost, ta tvoří asi 54 % elektrické vodivosti mědi a její hodnotu ovlivňuje obsah nečistot, čím více nečistot, tím menší je elektrická vodivost. Elektrickou vodivost ovlivňuje i stav a zpracování hliníku.

Další důležitou vlastností hliníku je odolnost proti korozi. Na povrchu se vytváří vrstva  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , která má tloušťku asi 0,01 mikrometru. Působením vyšších teplot a vzdušné vlhkosti může tato vrstva dosáhnout tloušťky 0,03 až 0,1 mikrometru.

Přísadou různých prvků k čistému hliníku vznikají slitiny, které se svými vlastnostmi odlišují od technického hliníku, mají lepší mechanické vlastnosti, menší elektrickou vodivost a jsou lépe odolné proti korozi.

Za zvýšení korozivzdornosti a dosažení lepších izolačních vlastností se vrstva  $\text{Al}_2\text{O}_3$  uměle zvyšuje na tloušťku 8 až 25 mikrometrů pomocí chemické oxidace, nebo anodické oxidace. Pevnost hliníku 99,5 % v žíhaném stavu se pohybuje od 70 MPa až do 90 MPa. Se stoupajícím obsahem nečistot se pevnost zvyšuje, ale tažnost klesá. Pevnost hliníku lze zvýšit tvářením za studena, jako je lisování, válcování, nebo tažení až na 180 MPa - tvrdý stav. Fyzikální a mechanické vlastnosti hliníku jsou uvedeny v následující tabulce.

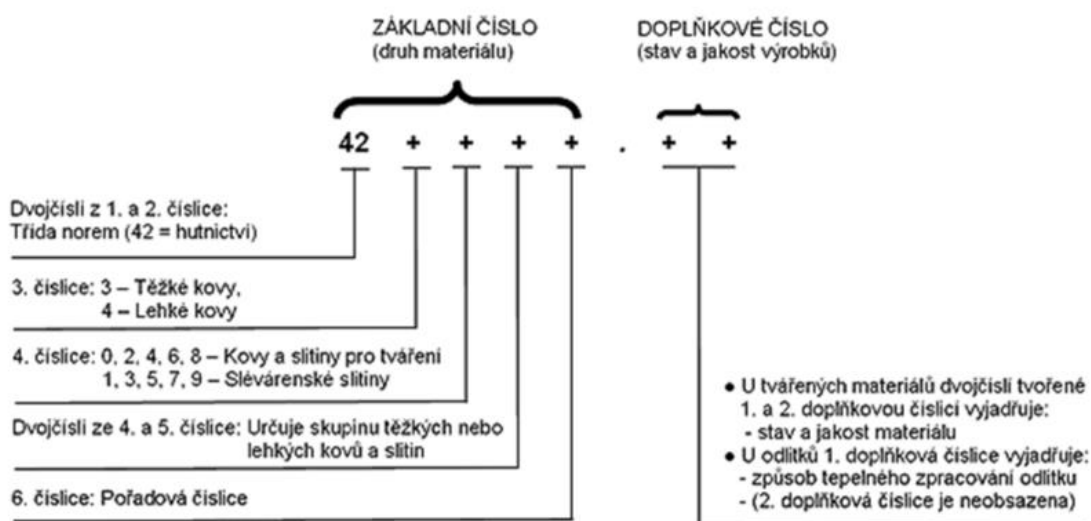
Vlastnosti	Hliník
Měrná hmotnost při 20[°C kg.dm <sup>-3</sup> ]	2,7
Teplota tavení [°C]	658
Teplota varu [°C]	2270
Tepelná vodivost [J/cm.s.°C]	2,1
Lineární tepelná roztažnost [mm.°C <sup>-1</sup> .10 <sup>-6</sup> ]	23,8
Elektrická vodivost při 20 °C [S]	35
Pevnost v tahu [MPa]	70 - 100
Tažnost [%]	30 – 40
Tvrдость [HB]	20
Modul pružnosti [MPa]	72 000

**Tabulka 2:** Fyzikální a mechanické vlastnosti hliníku [1]

#### 4.2. Značení hliníku a jeho slitin

Značení neželezných kovů, včetně slitin hliníku, je dosud obsaženo v **ČSN 42 0055**. Podle této normy je každý neželezný kov označen základním šestimístným číslem a jeho stav je označen doplňkovým dvojmístným číslem, odděleným od základního čísla desetinnou tečkou.

(Př.: ČSN 42 4356.30 – vytvrditelná slitina na odlitky Al – Cu8, provedeno rozpouštěcí žíhání).



**Obrázek 25:** Značení hliníku na jeho slitin [24]

Evropské značení hliníku a jeho slitin používá čtyřmístná čísla rozdělená do devíti skupin, přičemž první číslice ze čtyřmístného čísla udává skupinu materiálů podle hlavního přísadového prvku:

Skupina	Hlavní prvky slitiny	Svařitelnost
1xxx	Al min. 99,00 %	dobrá
2xxx	Cu	špatná
3xxx	Mn	dobrá
4xxx	Si	dobrá
5xxx	Mg	dobrá
6xxx	Mg – Si	špatná
7xxx	Zn	špatná
8xxx	ostatní	špatná
9xxx	neobsazeno [13]	

Evropské označení druhu tvářeného hliníku a jeho slitin obsahuje norma **ČSN EN 573-1**, která dále uvádí, že základnímu číselnému označení předcházejí písmena a spojovací čárka **EN AW-xxxx**.

Za poslední číslicí může být ještě velké písmeno (A, B,...), označující uznanou národní variantou materiálu. Např.: EN AW-1050 je označení pro hliník 99,5, nebo např. EN AW-2014 je pro slitinu AlCu<sub>4</sub>SiMg.

Dále se v hranaté závorce uvádí označení chemického složení podle těchto pravidel:

- na prvním místě je chemická značka hliníku a mezera, dále následují chemické značky slitinových prvků a číslice charakterizující jejich pořadí podle klesajícího obsahu,
- uvádějí se nejvíce 4 slitinové prvky v abecedním pořadí,
- obsah prvků je charakterizován hmotnostními procenty,  
např.: **EN AW-1050 [Al 99,5], EN AW/2014 [AlCu<sub>4</sub>SiMg[A]]**,
- hliník a jeho slitiny určené pro zvláštní použití se označí písmenem před chemickým složením. Např.: hliník pro elektrotechniku: EN AW-5305 [Al99,85Mg<sub>1</sub>],
- u slitin vyráběných z velmi čistého hliníku a jeho slitin obsahuje norma **ČSN EN 515**. K označení základních stavů se používá velkých písmen a k podrobnějšímu označení variant jedné až pěti číslic. Např.: **EN AW-1050[Al99,5[A]]-H16**

Norma rozlišuje pět základních stavů:

**F** – stav tváření a výroby,

**O** – stav žíhaný s nízkou pevností,

**H** – stav deformačně zpevněný, dále následují dvě číslice určující způsob zpracování a stupeň deformačního zpevnění,

**W** – nestabilní stav po rozpouštěcím žíhání u slitin, které přirozeně stárnou,

**T** – stav tepelně-mechanicky zpracovaný (vytvrzený), dále pak dvě číslice určující pořadí a varianty základních etap zpracování.

### 4.3. Rozdělení hliníkových slitin

Hliníkové slitiny rozdělujeme podle chemického složení, tepelného zpracování a odolnosti proti korozi.

Rozdělení podle tepelného zpracování:

- a) tvářené slitiny
- b) slitiny a odlitky

**Tvářené slitiny** se vyznačují dobrou tvárností za studen i za tepla. Legující prvky jsou přítomny v malém množství, podle významu mezi ně patří slitiny:

1. Al – Mn
2. Al – Mg, Al – Mg<sub>3</sub>, Al – Mg<sub>5</sub>, Al – Mg<sub>7</sub>
3. Al – Mg – Mn, Al – Mg – Si
4. Al – Cu – Mg, Al – Zn – Mg

Tyto tvářené slitiny jsou vyráběné ve formě polotovarů – tyče, plechy, pásy, různé profily, trubky, dráty a fólie.

**Slitiny a odlitky** mají podobné chemické složení jako tvářené slitiny, většinou ale obsahují více legujících prvků ve větším procentuálním obsahu těchto prvků.

Typickou litou slitinou je slitina Al – Si, známá pod označením Silumin.

Rozdělení podle způsobu tepelného zpracování:

- a) vytvrzovatelné hliníkové slitiny
- b) nevytvrzovatelné hliníkové slitiny

U **vytvrzovatelných** Al slitin je možné tepelným zpracováním zlepšit mechanické vlastnosti. Zvyšují se hodnoty meze pevnosti a meze kluzu, ale tažnost naopak klesá. Typický představitel těchto slitin je slitina Al – Cu – Mg (duralumin nebo dural). Vytvrzování je způsob tepelného zpracování Al slitin.

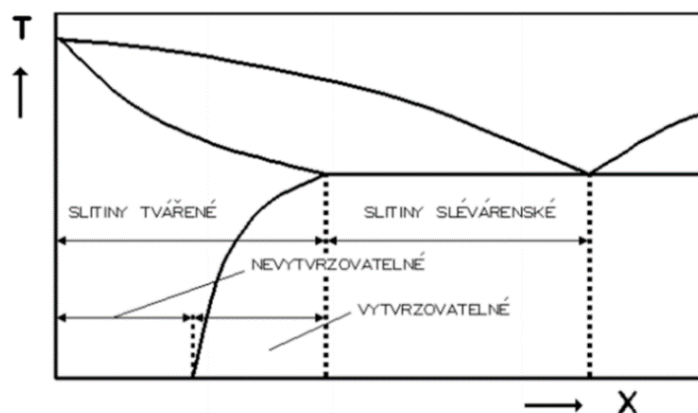
Mezi další vytvrditelné slitiny patří:

Al – Cu – Mg, Al – Cu – Mg – Si, Al – Cu – Mg – Ni, Al – Mg – Si, Al – Zn – Mg,  
Al – Zn – Mg – Cu.

Technický hliník nelze vytvrdit tepelným zpracováním, lze vytvrdit vždy pouze slitinu.

#### 4.3.1. Postup při vytvrzování Al slitin

1. Ohřev na teplotu maximální rozpustnosti (u Al je to teplota 480 °C – 540 °C dle druhu slitiny) – rozpouštěcí žíhání.
2. Rychlým ochlazením z této teploty (v oleji nebo ve vodě, vzniká přesycený tuhý roztok, který je nestabilní).
3. Po ochlazení mají slitiny pevnost kolem 200 MPa a tažnost asi 20 %. Pevnost se zvýší až po vytvrzení (stárnutí), které může probíhat buď při normální teplotě 20 °C (přirozené stárnutí za studena) několik dnů nebo při vyšší teplotě 50 °C – 180 °C (umělé stárnutí za tepla) několik hodin. Podchlazením se proces stárnutí prodlužuje, případně i zastavuje.



**Obrázek 26:** Rozdělení hliníkových slitin [31]

#### 4.4. Svařitelnost technického hliníku a jeho slitin

Svařitelnost technického hliníku je velmi dobrá za předpokladu, že se použije svařování elektrickým obloukem v ochranném plynu MIG a WIG (TIG). Tyto metody zaručují rozrušení povrchového oxidického filmu, nebo se při svařování použije vhodné tavidlo na odstranění oxidu  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Při svařování technického hliníku může dojít k rekrystalizaci a růstu zrn, a tím k výraznému poklesu pevnostních vlastností svarového spoje v porovnání se základním materiálem. [9]

Hliník a jeho slitiny je možné svařovat obloukovými metodami, plamenem, odporovým svařováním, difúzně, tlakem, ultrazvukem, plazmou, elektronovým i laserovým paprskem. Z uvedených metod svařování se v praxi uplatňuje nejvíce svařování wolframovou elektrodou WIG, nebo tavící se elektrodou v ochraně inertního plynu MIG. Těmito metodami lze docílit svary dobré kvality, neboť se odstraní vrstva oxidu, a to hlavně při použití střídavého proudu.

Jako ochranný plyn se používá čistý argon, hélium nebo jejich směs. Při svařování jen z jedné strany se argon musí použít i jako formovací plyn, aby se zabránilo nadměrné oxidaci. V případech, kdy se může svařovat i z druhé strany, se kořenový svar musí obrousit a navařit znovu.

Většina legujících prvků má v hliníku omezenou rozpustnost. Rozpustnost klesá s klesající teplotou. Hliníkové konstrukční materiály jsou proto převážně nízkolegované slitiny, které mají vlastnosti často velmi srovnatelné s vlastnostmi technického hliníku. Svařitelnost hliníkových slitin má značné množství společných znaků – ukazatelů svařitelnosti a proto se nejčastěji hodnotí společně pro všechny skupiny konstrukčních hliníkových slitin. [9]

##### 4.4.1. Podmínky svažitelnosti

Největšími problémy při svařování hliníkových materiálů je pórovitost svarů, náchylnost na vznik horkých trhlin ve svarových spojích, přítomnost oxidické vrstvy  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na povrchu svařovaných materiálů a její rychlá tvorba během svařování a výrazný pokles pevnosti svarového spoje u vytvrditelných slitin. [9]

## **Pórovitost svarů**

Vznik pórů, bublin a v ojedinělých případech i trhlin způsobuje vodík, jehož účinek se projevuje zejména ve svarovém kovu.

Při krystalizaci hliníkového svarového kovu prudce klesá rozpustnost vodíku v hliníku, přičemž nedojde k úplnému vyloučení vodíku ze svarového kovu. Hliníkové svary rychle krystalizují, část vodíku ve fázi krystalizace proto zůstává ve svaru a k jeho vyloučení dojde až pod teplotou solidu.

Snížení nepříznivého působení vodíku:

- a) minimalizování vodíku v základním materiálu a v přídavném materiálu, zejména v oxidické povrchové vrstvě,
- b) zkrácení času přímého tavení svarového kovu a zabránění jeho přehřátí se řeší svařováním elektrickým obloukem v ochranném plynu WIG s použitím pulzního proudu. Tento režim zabezpečí krátkodobé tavení, rychlou krystalizaci a vyloučí přehřátí svarové lázně,
- c) použití vhodné plynové, struskové nebo tavidlové ochrany svarové lázně zajistí svařování elektrickým obloukem WIG. Je nutné používat vysokou čistotu ochranných plynů (min. 99,9 hm. % Ar). [9]

## **Trhliny ve svarových spojích slitin hliníku**

Horké trhliny se mohou vyskytovat jak ve svarovém kovu, tak i v tepelně ovlivnitelné zóně. Na vznik trhlin jsou citlivější svary, které mají široký interval tuhnutí. Vznik trhlin je rovněž ovlivněn způsobem krystalizace a segregací. Rozdílná náchylnost na vznik horkých trhlin při svařování jednotlivých slitin hliníku je dána rozdílným způsobem a podmínkami krystalizace. Náchylnost ke vzniku horkých trhlin je ovlivňována typem a množstvím eutektické fáze. [9] [12]

Kromě chemického složení svarového kovu a základního materiálu může vznik trhlin ovlivnit zvolená technologie svařování, parametry svařování a zejména přehřev.



Snížení náchylnosti na vznik trhlin:

- a) vhodná volba přídavného materiálu,
- b) předehřev,
- c) volba technologie svařování, která umožňuje velkou rychlost svařování,
- d) nesvařovat při tuhém upnutí svarových spojů.

### **Oxidace slitin hliníku**

Svařitelnost hliníku a jeho slitin negativně ovlivňuje oxidová vrstva  $Al_2O_3$  na povrchu. Teplota tání hliníku je  $668\text{ }^\circ\text{C}$  a oxidové vrstvy  $2050\text{ }^\circ\text{C}$ . Jestliže chemicky nebo mechanicky odstraníme vrstvu kyslíčnicku, okamžitě, při pokojové teplotě začne na povrchu hliníku vznikat nová vrstva  $Al_2O_3$ . Tenká vrstva oxidu tloušťky  $0,1\text{ }\mu\text{m}$  se na povrchu hliníku vytvoří za 1 vteřinu. Před svařováním se tato vrstva odstraňuje chemicky, nebo mechanicky a při svařování chemicky nebo přímým účinkem elektrického oblouku v ochranném plynu Ar (tzv. čistící účinek argonu).

### **Pokles pevnostních vlastností zpevněných slitin hliníku**

Hliníkové slitiny Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg a Al-Mg-Si svařované ve vytvrzeném stavu vykazují po svařování výrazný pokles pevnosti v celém svarovém spoji až na úroveň pevnosti žíhaného materiálu. Základní podmínkou pro vytvrzení hliníkových slitin je pokles rozpustnosti legujícího prvku v závislosti na klesající teplotě. [9]

**Materiály vhodné na svařování:** hliník, slitiny AlMn, AlMg, AlSi.

**Materiály obtížně svařitelné:** slitiny AlCuMg, AlMgSi, AlZnMg.

Při svařování tenkých plechů není nutný předehřev, který zvětšuje šířku tepelně ovlivnitelné oblasti. Při svařování větších tlouštěk je předehřev nutný. Při svařování mohou vznikat neprůvary s ohledem na intenzivní odvod tepla.

## **4.5. Tepelné zpracování**

Tepelné zpracování hliníkových slitin se provádí z důvodů zvýšení jejich mechanických vlastností, respektive pevnosti.

## **Přehřev při svařování**

Před svařováním je nutné přehřát svařované díly, na teplotu 100 °C až 200 °C. Teplota přehřevu závisí na tloušťce svařované hliníkové slitiny. Čím větší tloušťka, tím bude teplota ohřevu vyšší. Tím, že přehřejeme svařovanou slitinu, zabráníme vzniku trhlin, snížíme vnitřní napětí materiálu a zlepšíme mechanické vlastnosti svarového spoje.

## **Žihání**

Svařovanou slitinu zahřejeme na teplotu 300 °C až 400 °C, výdrž na této teplotě, ochladíme na vzduchu, nebo u některých typů hliníkových slitin kombinace vzduch - voda. Velikost teploty a délka časové výdrže závisí na typu hliníkové slitiny. Účelem žihání u tvářených slitin je změna stavu Al slitiny na stav měkký, kdy se snižuje tažnost materiálu. U lité hliníkové slitiny se sníží zbytkové napětí v odlitku.

## **Rozpouštěcí žihání**

Tento druh žihání se používá u vytvrditelných hliníkových slitin. Slitinu ohřejeme na teplotu 400 °C až 500 °C podle typu hliníkové slitiny, výdrž na této teplotě po dobu nutnou k převedení přísadových prvků do tuhého roztoku. Doba výdrže závisí na tloušťce materiálu. Se zvyšující se tloušťkou materiálu se prodlužuje doba výdrže na teplotě. Výdrž se provádí podle druhu použité slitiny na vzduchu nebo ve vodě. Po ochlazení jsou hodnoty pevnosti a meze kluzu poměrně nízké, ale zvyšuje se houževnatost a tvárnost materiálu.

## **Přirozené stárnutí**

Po prudkém ochlazení hliníkové slitiny nastává přirozené stárnutí. Dochází k rozpadu nestabilního (přesyceného) tuhého roztoku. Vytvářejí se různé struktury, jejichž účinkem se slitina zpevňuje. K těmto změnám dochází ihned po ochlazení. Nejvyšších hodnot pevnosti se dosáhne přibližně po pěti dnech a pak se již s časem prakticky nemění. Klesá houževnatost a tvárnost materiálu.

## **Umělé stárnutí (vytvrzování za tepla)**

Probíhá stejně jako přirozené stárnutí po rozpouštěcím žihání, ale za vyšších teplot přibližně okolo 80 °C až 180 °C v časovém intervalu od 4 do 24 hodin, v závislosti na typu hliníkové slitiny. Hodnoty pevnosti rychle narůstají až do maximální hodnoty, po které následuje mírný pokles a snižuje se tvárnost.

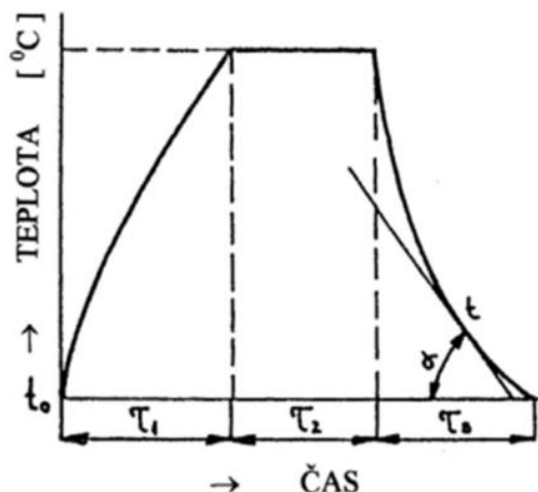
## Stabilizační stárnutí

Jedná se o stárnutí při vyšších teplotách s delší výdrží na teplotě než při umělém stárnutí. Stabilizační stárnutí se provádí u odlitků, které pracují při vyšších provozních teplotách za účelem stabilizace struktury, vlastností, popřípadě i rozměrů odlitku.

## Všeobecný diagram tepelného zpracování

### Z diagramu lze vyčíst:

- dobu ohřevu (časové rozmezí od počátku ohřevu do dosažení požadované teploty na povrchu),
- výdrž (udržování svarku při určité teplotě po stanovenou dobu),
- chladnutí (pochod, jímž se snižuje teplota na požadovanou hodnotu měřenou na povrchu ochlazovaného svarku).



**Obrázek 27:** Diagram tepelného zpracování [26]

Svařitelnost hliníkových slitin se hodnotí podle pevnosti v tahu svarových spojů a chemického složení materiálu. Svařitelnost též závisí na náchylnosti svarových spojů a na vzniku možných defektů.

### Základní podmínky svařování hliníkových slitin:

- metodou WIG 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.

## 5. Elektrický oblouk

Elektrický oblouk se využívá při svařování k přeměně elektrické energie na energii tepelnou. Při svařování vzniká mezi elektrodou a základním materiálem při vysoké intenzitě proudu za relativně nízkého napětí. Výkon oblouku, geometrický tvar a teplotu je možno podle technologických požadavků měnit. V závislosti na proudové hustotě, výkonu oblouku a použitých ochranných plynech je možno nastavit různé způsoby přechodu kovu přídavného materiálu, pro který jsou charakteristické různé typy oblouku.

- Krátký (zkratový) oblouk** při kapkovém přenosu materiálu je charakteristický střídáním fáze hoření oblouku a fáze zkratu s přechodem materiálu. Napětí na oblouku je malé, proudová hustota je střední.
- Impulzní oblouk** při svařování v ochranných plynech dosahuje bez zkratového přechodu materiálu. Při každém pulzu se při optimální volbě parametrů uvolní z drátové elektrody jedna kapka přídavného materiálu.
- Oblouk při sprchovém přenosu materiálu** je relativně dlouhý, vyznačuje se vysokou proudovou hustotou a vyšším napětím na oblouku.

### 5.1. Zapalování elektrického oblouku

- Krátkodobým spojením elektrody s materiálem a následným rozpojením.** Dotykem elektrody s materiálem při průchodu zkratového proudu vysokým přechodovým

odporem na rozhraní elektroda – materiál se konec elektrody rozžhaví a po jejím oddálení od materiálu v důsledku tepelné emise elektronů dojde k ionizaci a vzniku elektrického oblouku. Pro zapálení stačí relativně nízká intenzita proudu.

- b) **Vytvořením vysoce ionizovaného prostředí** mezi elektrodou a materiálem na základě přivedení vysokonapěťového impulzu na elektrody a to buď pomocí výboje (jiskry) nebo přechodem tohoto jiskrového výboje v následný obloukový výboj (u stejnosměrného proudu). Zařízení generující vysokonapěťové impulzy se nazývá ionizátor.

## 5.2. Stabilita oblouku

Stabilita hoření oblouku při svařování závisí na technologii svařování a na vlastnostech svařovacích zdrojů. Kvalita svarového spoje je podmíněna stabilitou elektrického oblouku. Snadněji se zajišťuje stabilita hoření oblouku při svařování stejnosměrným proudem než proudem střídavým.

Při svařování střídavým proudem vzniká zvláště při nižších proudech nestabilita oblouku, která způsobuje defekty ve svarech, popřípadě zcela znemožňuje svařování. Tento jev je způsoben tím, že elektrický proud mění periodicky svůj směr i velikost. Je-li okamžitá hodnota proudu nulová, oblouk zhasne a teplota elektrod i plynového sloupce klesne. Současně dochází k deionizaci plynu a poklesu elektrické vodivosti ve sloupci. K zapálení oblouku je potřebné tzv. zápalné napětí oblouku (zvýšené napětí).

Ke znovu zapálení oblouku dojde např. zapojením tlumivky do obvodu svařovacího zdroje. Vznikne určitý fázový posuv mezi napětím zdroje a svařovacím proudem. V okamžiku zhasínání oblouku a průchodu proudu nulovou hodnotou je napětí zdroje pro znovu zapálení oblouku dostatečně vysoké a hoření oblouku je stabilní. Použijeme-li tlumivku ve svařovacím obvodu, klesne doba zhasnutí oblouku na 3 – 5 % celkové doby jeho hoření, takže oblouk hoří prakticky nepřetržitě. Stabilizaci při svařování střídavým proudem lze též zajistit pulzním generátorem s nízkou frekvencí (nižší pravděpodobnost rušení telekomunikací), nebo vysokofrekvenčním vysokonapěťovým generátorem, který indukuje do svařovacího obvodu napětí 2,5 až 5 kV o frekvenci 2 až 5 MHz.

## 6. Technologie svařování elektrickým obloukem WIG a MIG

Při svařování elektrickým obloukem se k natavení základního a přídavného materiálu využívá energie elektrického výboje mezi dvěma elektrodami v plynném prostředí, kde základní elektroda je svařovaná součást a druhá elektroda je zároveň přídavný materiál – obalená elektroda MIG, nebo netavící se wolframová elektroda WIG, resp. uhlíková elektroda.

Plynným prostředím je vzduch (uhlíková elektroda) nebo častěji ochranný plyn, který se přivádí k místu svaru speciálními hořáky (svařování v ochranných atmosférách), nebo vzniká přímo v místě svařování hořením obalu obalené elektrody.

Elektroda se připojuje na kladný pól zdroje proudu. Elektrody nesmí navlhnout, proto je nutné věnovat pozornost jejich skladování. V případě potřeby můžeme elektrody přesušit při teplotě 120 – 150 °C. Vyrábějí nejčastěji v průměrech 2,5 – 3,2 a 4 mm.

Průměr elektrody:  $D = S - 1$  [mm]                      pro  $S \leq 6$  mm

$D = [S/2] + 3$  [mm]                      pro  $S > 6$  mm

Kde D je průměr elektrody a S je tloušťka svarového materiálu.

K dosažení kvalitního svarového spoje je vhodná příprava základního materiálu, která se skládá z **dělení materiálu**, z jeho **úpravy** na správné tvary a rozměry svarových ploch, z **očištění** a **odmaštění** základního a přídavného materiálu.

Oxidovou vrstvu můžeme odstranit buď mechanicky obroušením, opilováním ocelovým kartáčem nebo chemicky. Při chemickém čištění jde o obnažení materiálu od základní oxidové vrstvy. Síla oxidové vrstvy po moření je asi 0,0015 mikrometrů. Postup chemického čištění je uveden v Tabulce 3.

Operace	Lázně	Teplota °C	Čas v minutách
Moření	10-15% NaOH	50 - 60	1 – 3
Opláchnutí	Teplá voda	50 - 60	0,5 – 1
Opláchnutí	Studená voda	10 - 20	0,5 – 1
Neutralizace	20 – 30% HNO <sub>2</sub>	10 - 20	1 – 2
Opláchnutí	Teplá voda	50 - 60	0,5 – 1
Sušení	Teplý vzduch	20 - 30	1 – 4

**Tabulka 3:** Postup chemického čištění materiálu [2]

Těsně před vlastním svařováním po úpravě svarových ploch se provádí čištění základního a přídatného materiálu. Po chemickém čištění se musí materiály zpracovat do 24 hodin. Mezi operacemi čištěním a svařováním nemá být začleněná žádná jiná operace, aby se neznečistil povrch materiálu. Mechanické odstranění vrstvy Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se provádí většinou při opravách a při větších svařencích. Chemické čištění se provádí u menších svarů. Při použití smirkového plátna je nutné základní i přídatný materiál omýt vodou a otřít do sucha. U svarových spojů I, V, W je vhodné ze strany kořene svaru mírně srazit hranu, tím se zlepší formování kořene svaru



**Obrázek 28:** Úprava svarových ploch v EGE, s. r. o. [vlastní zdroj]

Tavením základního a přídatného materiálu vzniká **svarový kov**. Část nataveného základního materiálu ve svarovém kovu se nazývá promísení. Při svařování kořene svaru je svařování kořene vyšší než svařování výplňové části.



**Obrázek 29:** Bodování před svařováním WIG v EGE, s. r. o. [vlastní zdroj]

Geometrii svarové lázně ovlivňuje svařovací proud a napětí. Hloubku a šířku svaru ovlivňuje svařovací napětí. Poměr šířky k hloubce svarového kovu se označuje jako koeficient svaru. Tvar svarové lázně je ovlivněn i rychlostí svařování. [24]



**Obrázek 30:** Bodový svar WIG při výrobě zapouzdřených vodičů v EGE, s. r. o. [vlastní zdroj]



**Obrázek 31:** Dokončovací operace WIG v EGE, s. r. o [vlastní zdroj]



## Dělení materiálu na požadované tvary a rozměry

Dělení materiálu se provádí mechanickým a tepelným způsobem. Při mechanickém způsobu se používá stříhání na nůžkách (tenké plechy) nebo řezání na strojní pile (trubky, tyče, profily). Při tepelném způsobu se používá plazmové řezání a řezání kyslíkem. Svarové plochy po tepelném dělení je vhodné obrousit nebo jinak vhodně opracovat na kovově čistý povrch.



**Obrázek 32:** Koutový svar v EGE, s. r. o. [vlastní zdroj]

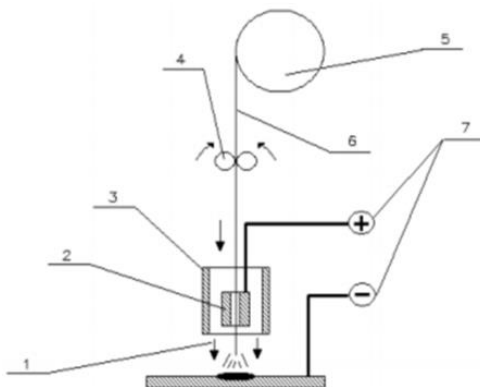
Technika svařování charakterizuje polohu a pohyby svařovacího hořáku a přídavného materiálu vzhledem ke svařovanému materiálu.

### 6.1. Svařování odtavující se kovovou elektrodou v inertním plynu MIG

Ve většině případů lze doporučit pulzní svařování. Pulzní proces umožňuje také svařování malých tloušťek plechu a současně snižuje pravděpodobnost tvoření pórů. Kromě toho se snižuje tvorba rozstříku. Paleta plynu je podobná jako u WIG svařování.

Přísada dusíku ve směsích Aluline N se osvědčila jako výhodná, s rostoucí tloušťkou plechu by měl odpovídajícím způsobem stoupat podíl obsahu hélia.

1 – ochranný plyn, 2 – napájecí průvlak, 3 – hubice hořáku, 4 – podávací kladky, 5 – cívka s drátem, 6 – svářecí drát, 7 – zdroj stejnosměrného proudu.



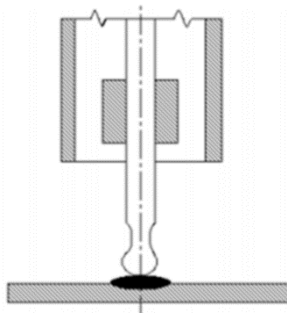
**Obrázek 33:** Princip MIG svařování [31]

Holý drát navinutý na cívce tvořící elektrodu, je kladkovým podavačem podáván konstantní rychlostí do svarové lázně přes napájecí průvlak. Drát je současně přídavným materiálem. Na kladný pól stejnosměrného zdroje je připojen napájecí průvlak. Základní materiál pak tvoří katodu. Ochranný plyn je přiváděn hubicí hořáku k místu svaru.

Z hlediska přenosu přídavného materiálu do svarové lázně rozeznáváme dva procesy, zkratový a bezzkratový.

#### **a) Zkratový proces**

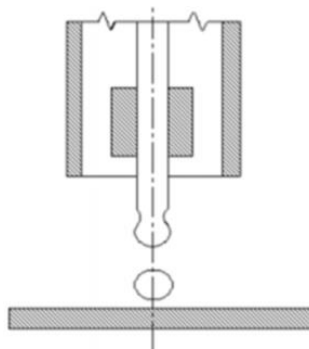
Tvořící se kapka vytváří vodivý přechod mezi tavnou lázní a elektrodou a ve svařovacím obvodu vzniká zkrat. Zkratový proud zvýší teplotu vodivého přechodu a urychlí odtavení kapky. Tento způsob se používá při svařování tenkých plechů a při svařování větších tloušťek v montážních polohách, kdy se svařuje menšími proudy



**Obrázek 34:** Zkratový proces [31]

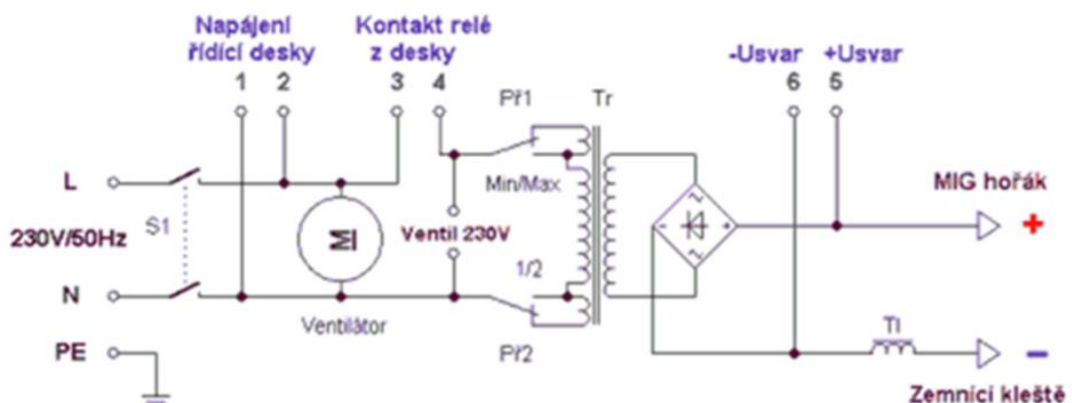
**b) Bezzkratový proces**

U tohoto procesu je průměr kapky menší než vzdálenost tavné lázně a elektrody. Vzniká při vyšším proudovém zatížení elektrody. Používá se pro svařování větších tloušťek materiálů v poloze vodorovné shora.



**Obrázek 35:** Bezzkratový proces [31]

Přídavnými materiály pro metodu MIG jsou dráty o průměru 0,8 až 2,4 mm, které jsou navinuty na cívkách. Dráty zvyšují tvrdost povrchu, jelikož mají speciální povrchovou úpravu a je zajištěno spolehlivé podávání pomocí kladek. Z hlediska přípravy základního materiálu stačí těsně před svařováním očistit plochu drátěným kartáčem. Doporučuje se též předehřev na teplotu 150 až 300 °C.



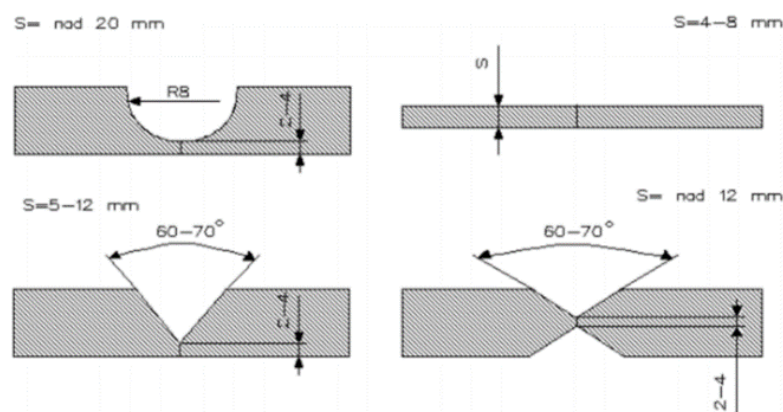
**Obrázek 36:** Silová část jednoduché svářečky [17]

Jelikož hliník je velmi měkký materiál, je třeba věnovat pozornost podávání drátu. Pro vedení drátu v hořáku se používají teflonové bowdeny. Maximální délka hořáku je při klasickém tlačném podávání 3 metry.

V poslední době se začíná používat pulzní svařování MIG, které je vhodné pro svaření v nucených polohách a v případech, kdy je kladen důraz na estetické provedení svarové housenky.



**Obrázek 37:** Svarová housenka MIG [vlastní zdroj]



**Obrázek 38:** Úprava svarových ploch při svařování MIG [31]

Speciální postupy plazmového svařování elektrodou připojenou ke kladnému pólu je variantou WIG svařování, která se používá především v automatizovaných procesech. Kombinovaný proces plazma MIG svařování se aplikuje takřka výhradně v plně automatizovaných procesech. Tlusté plechy se touto technikou dají svařit v základní poloze při velmi vysoké kvalitě.

U dvoudrátové techniky MIG svařování jsou dvě drátové elektrody většinou se dvěma oddělenými zdroji proudu společně vedeny v jednom hořáku. Tato technika se uplatňuje při svařování dlouhých svarů na rovných součástech nebo při orbitálním svařování.

## 6.2. Svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu WIG

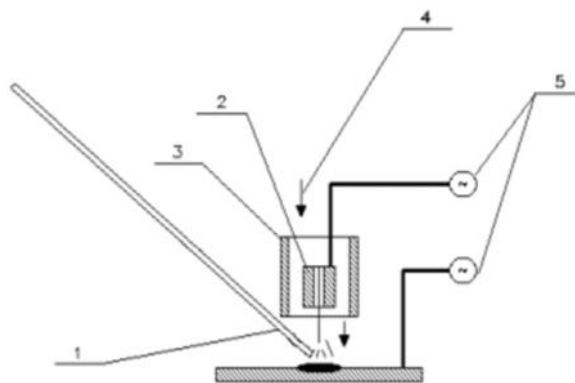
**Metoda WIG – Wolfram Inert Gass**, někdy také **označovaná TIG – Tungsten Inert Gass** je v současné době nejprogresivnější rozvíjející se metodou svařování kovů.

Opět se jedná o svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře, nejčastěji v argonu, héliu resp. jejich směsí.

Z důvodu lepšího odstranění povrchové vrstvy oxidu se svařování provádí metodou WIG střídavým proudem. Kromě klasického argonu a směsí argonu s héliem, jsou k dispozici dvou a trojkomponentní směsi Aluline N a Aluline HeN.

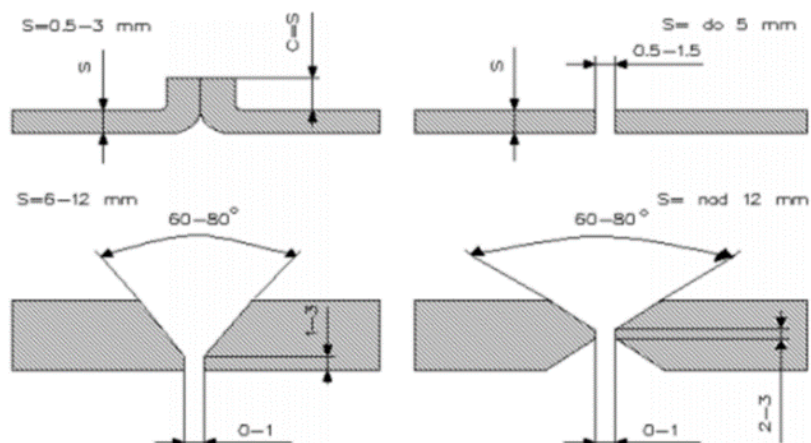
Příměs dusíku ve směsích Aluline N stabilizuje a koncentruje elektrický oblouk a zlepšuje tvar závaru. Varianta WIG DC svařování stejnosměrným proudem s elektrodou připojenou na záporném pólu se používá poměrně zřídka. Zde se využívá čisté hélium nebo ochranný plyn s vysokým podílem hélia. [22]

1 – ochranný plyn, 2 – napájecí průvlek, 3 – hubice hořáku, 4 – směr pohybu drátu, 5 – zdroj střídavého proudu.



**Obrázek 39:** Svařování WIG [31]

Metoda WIG se používá pro svařování menších tlouštěk stěn, asi 1 až 6 mm. Svary nevyžadují opracování a jsou velice úhledné. Elektrody jsou křehké a snadno se lámou. Ve srovnání se svařováním MIG je rychlost svařování nižší a velikost tepelné zóny je větší.



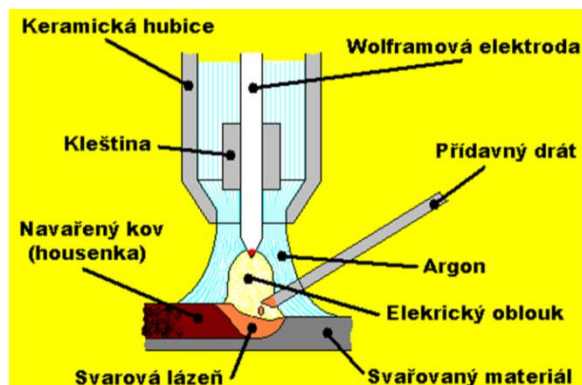
Obrázek 40: Úprava svarových ploch před svařováním WIG [31]

			$I_2$				
		(mm)	(A)	(mm)	(mm)	(l/min)	(mm)
TIG DC	Ocel	0.3 - 0.5	5 - 20	0.5	6.5	3	•
	Ss	0.5 - 0.8	15 - 30	1	6.5	3	•
		1	30 - 60	1	6.5	3 - 4	1
		1.5	70 - 100	1.6	9.5	3 - 4	1.5
		2	90 - 110	1.6	9.5	4	1.5 - 2.0
		3	120 - 150	2.4	9.5	5	2 - 3
		4	140 - 190	2.4	9.5 - 11	5 - 6	3
		5	190 - 250	3.2	11 - 12.5	6 - 7	3 - 4
		Slitiny s Cu	0.3 - 0.8	20 - 30	0.5 - 1	6.5	4
	Cu	1	80 - 100	1	9.5	6	1.5
1.5		100 - 140	1.6	9.5	8	1.5	
2		130 - 160	1.6	9.5	8	1.5	
TIG AC	Hliník	1	30 - 45	1 - 1.6	6.5	4 - 6	1.2 - 2
	Al	1.5	60 - 85	1.6	9.5	4 - 6	2
		2	70 - 90	1.6	9.5	4 - 6	2
		3	110 - 160	2.4	11	5 - 6	2

Tabulka 4: Porovnání WIG (TIG) svařování pro různé materiály [31]

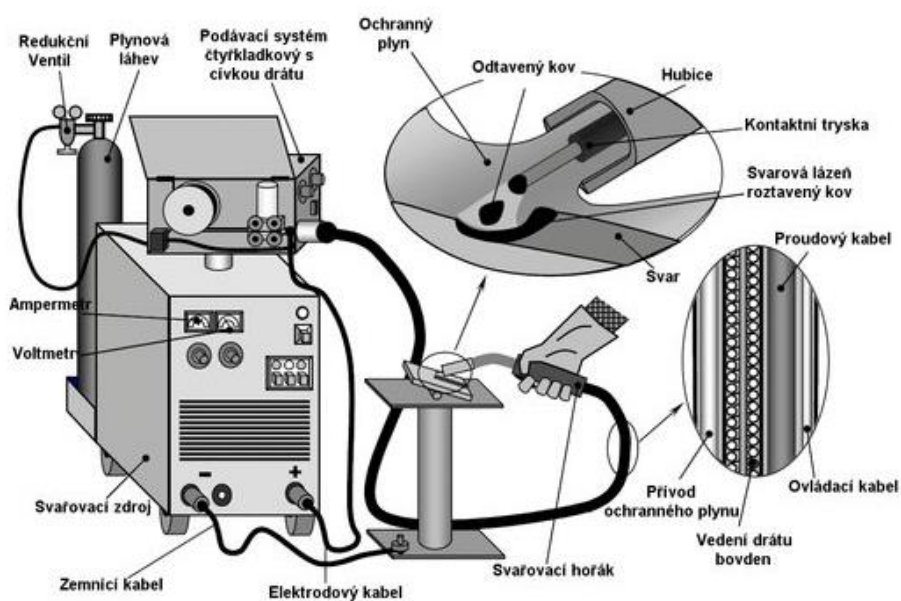
### 6.2.1. Postup při svařování WIG

Při svařování metodou WIG (TIG) se vyžaduje postup svařování vpřed, kdy se přídavný materiál pohybuje před hořákem. Základní materiál se natavuje a přídavný materiál v podobě svařovacího drátu se postupně odtavuje, proud ochranného plynu není narušen a dosahuje se pravidelné kresby.



**Obrázek 41:** Vzájemná poloha hořáku a přídavného materiálu při svařování metodou WIG. (Svařování tupých spojů BW) [3]

Svařovací hořák je u tupých spojů vedený pod úhlem  $80^\circ$  až  $90^\circ$  a přídavný materiál pod úhlem  $10^\circ$  až  $15^\circ$ , vše vzhledem k základnímu materiálu. Při svařování se nesmí dotknout wolframová elektroda základního materiálu, neboť by došlo k odpaření částic wolframové elektrody do tavné lázně svaru a tím k vytvoření kovových vměstků, které způsobují necelistvost a tím i vážné znehodnocení svaru.



**Obrázek 42:** Vzájemná poloha hořáku a přídavného materiálu při svařování metodou WIG [25]

Svařovací drát se přidává až po vytvoření svarové lázně, a to vždy na její okraj. Přidávání se provádí v určitých pravidelných intervalech, přičemž se musí dbát na to, aby se natavený konec drátu při zpětném pohybu nedostal mimo ochrannou zónu, neboť by nastalo okysličení, což je nepříznivé pro výslednou jakost svaru.



**Obrázek 43:** Svařování zapouzdřeného vodiče metodou WIG v EGE, s. r. o. [vlastní zdroj]

U tenkých materiálů se přidává drát v krátkých časových intervalech 1 až 2 sekundy a bez rozkvyu do stran. U silnějších materiálů se přidává drát s rozkvyem střídavě na jednu a potom druhou stranu svarové lázně.

Krycí housenka se vytváří malým bočním pohybem hořáku do stran. Maximální šířka jedné housenky je 15 až 20 mm. Při ukončení svařování vzniká kráter, kterému se zabrání intenzivnějším přidáváním svařovacího drátu, snižováním svařovacího proudu nebo vrácením svařovacího hořáku na již provedený svar.

Tloušťka materiálu	Značka svaru	Řez	Úhel $\alpha, \beta$	Mezera b	Otupení c	Výška úkosu H	Doporučená metoda svařování
$t \leq 4$	II		—	$\approx t$	—	—	311 111 141
$3 \leq t \leq 8$			—	6 až 8	—	—	131 135 141
$3 \leq t \leq 10$	V		$40^\circ$ až $60^\circ$	$\leq 4$	$\leq 2$	—	111 131 135 141
$t \leq 16$			$5^\circ$ až $20^\circ$	5 až 15	—	—	111 131 135
$t \leq 12$	U		$8^\circ$ až $12^\circ$	1 až 4	$\leq 3$	—	111 131 135 141
$3 \leq t \leq 10$			$35^\circ$ až $60^\circ$	2 až 4	1 až 2	—	111 131 135 141

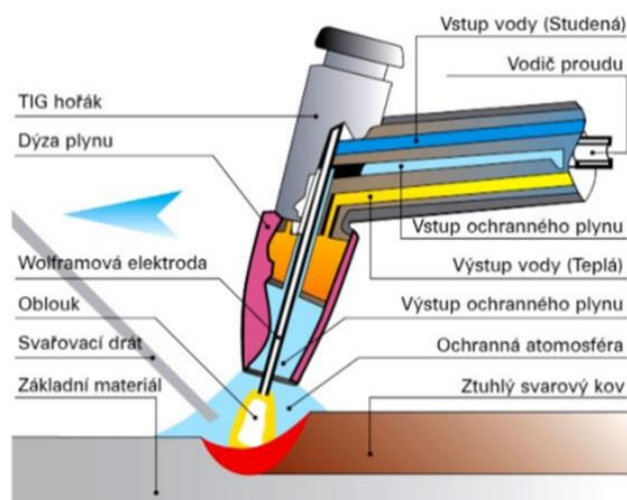
**Tabulka 5:** Typy svarových spojů pro hliník a jeho slitiny [34]



Netavící se elektrody jsou wolframové, odolávají vysokému tepelnému zatížení. Kromě čistého wolframu se používá wolfram legovaný thoriem, zirkoniem a ceriem. Svaňuje se buď s přídavným materiálem, nebo bez přídavného materiálu.

U metody WIG není vhodné zapojení netavící se elektrody na kladný pól svářecího zdroje vzhledem k jejímu vysokému tepelnému zatížení. Zatížení je zde podstatně nižší, ale nelze využít čistého efektu elektrického oblouku.

Při svařování metodou WIG hoří oblouk mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. Ochranu elektrody i tavné lázně před okolní atmosférou zajišťuje netečný plyn argon, hélium nebo jejich směsí. Svařování lze realizovat s přídavným materiálem ve formě drátu ručním způsobem, nebo automatické svařování s podavačem drátu s proměnnou rychlostí jeho podávání dle postupu svařování.



**Obrázek 44:** Princip svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu WIG(TIG) [28]

Obecně lze svařování rozdělit dle druhu proudu na svařování střídavým proudem pro hliník, hořčík a jejich slitiny a svařování stejnosměrným proudem pro středně a vysokolegovanou ocel, měď, nikl, titan, zirkon, molybden a další.

Pro svařování uhlíkové oceli se metoda WIG používá méně z důvodu nebezpečí vzniku pórů ve svaru a z ekonomického hlediska. Svařování wolframovou elektrodou se používá i spojování obtížně svařitelných materiálů s vysokou afinitou ke kyslíku např. titan a zirkon, lze svařovat i různorodé materiály – ocel s mědí, bronzem nebo niklovými slitinami.

### 6.2.2. Technika ručního svařování WIG

Ruční svařování WIG je stále velmi používaná metoda především pro spojování vysokolegovaných ocelí a velké skupiny neželezných kovů. Používá se při svařování složitých prostorových konstrukcí, v kusové, malosériové výrobě a všude tam, kde je třeba vytvořit svar s velmi dobrými vlastnostmi, výborným povrchem a vysokou čistotou.

Technika ručního svařování charakterizuje polohu, pohyb hořáku a přídavného materiálu vzhledem ke svarové lázni. Svařování WIG připomíná svařování plamenem, kde místo tepla plamene se materiál taví teplem oblouku, ale pohyb hořáku a přídavného materiálu je klidnější.

Při svařování je důležité, aby přídavný drát při svém pohybu zůstal v oblasti ochranného plynu a nebyl kontaminován vzduchem.

Při kontaminaci hrozí nebezpečí oxidace ohřátého konce a zanesení oxidů do svarové lázně.

Metodou WIG se dá svařovat ve všech polohách a svařuje se zpravidla dopředu. Při svařování dopředu se hořák pohybuje vlevo (u praváků), tyčka přídavného materiálu se posunuje před hořákem a je postupně podávána na okraj tavné lázně. Povrch svaru je formován obloukem.

V základní poloze je poloha hořáku kolmá k příčné ose svaru, čímž se zajistí rovnoměrné natavení obou polovin svařovaného materiálu.

Sklon hořáku v podélné ose je cca  $10^\circ$  vzad a úhel sklonu tyčky  $60^\circ$  až  $80^\circ$  vpřed od kolmice v místě hoření oblouku.

Polohování hořáku i přídavného materiálu se mění dle typu svaru, polohy, směru svařování, složitosti a tvaru svarku, dostupnosti svaru.

Základní svařovací polohy, odpovídající sklon a orientace hořáku s přídavným materiálem a jejich pohyb ve svarové spáře jsou zobrazeny v kapitole „Značení poloh a typy svarů“.

Vysunutí elektrody z keramické plynové trysky je přibližně dvojnásobek průměru elektrody pro tupé svary a u koutových svarů se vysunutí elektrody zvětšuje o 3 až 5 mm.

Důležitým předpokladem úspěšného svařování je příprava svarových ploch, která se řídí tloušťkou a druhem svařovaných materiálů. Kromě běžných tvarů úprav úkosů, jako je lemový svar, I a V svar se často používají i při relativně malých tloušťkách U svary a jejich modifikace. [4]

### **Zásady pro ruční svařování hliníku a jeho slitin**

- Používá se střídavý proud o frekvenci 40 až 250 Hz a inertní plyn Ar nebo Ar + 25 – 75 % He, nebo stejnosměrný proud s He + 10 % Ar.
- Do tloušťky 5 mm se tupé svary svařují bez úkosu a bez mezery, doporučuje se zkosit spodní hranu svaru 0,5 až 1mm.
- Větší tloušťky se upravují do „V“ úkosu a úhlem rozevření 80 až 90°, otupením 2 mm.
- Hodnota proudu se volí přibližně 40 až 60 A na 1 mm tloušťky materiálu.
- Jako přídavný materiál se používá AlMg5 vhodný proti vzniku trhlin za tepla.
- Pro AlSi slitiny je vhodný AlSi3 až 5.
- Stehování se provádí střídavě od středu svaru po přibližně 100 mm. Šířka stehu nesmí překročit šířku budoucího svaru.
- Délka oblouku je 3 – 5 mm.
- Pro svařování hliníku se používá svařování vpřed.
- Doporučuje se přehřev 200 až 300 °C dle složitosti a tloušťky svarku.
- Při začátku svařování je nutno přidat přídavný materiál až po prosednutí svarové lázně, které detekuje protavení kořene.
- Při ukončování svaru je nutné použít funkci poklesu proudu a doplnit koncový kráter.
- Pro čištění povrchu je nutné kartáčování, broušení nebo moření v NaOH pro odstranění oxidu hlinitého.
- Identifikace slévárenských slitin dle barvy oblouku:
  - bílý oblouk – AlSi
  - nazelenaý oblouk – AlMg.

- Identifikace slitin hliníku kapkovou metodou pomocí 20 % NaOH (5min):
  - bílá skvrna AlMg,
  - černá odstranitelná skvrna AlCuMg,
  - tmavě hnědá neodstranitelná skvrna AlSi. [3]

### **Obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu WIG**

Svařování metodou WIG (TIG) má proti jiným metodám tavného svařování tyto **metalurgické a technické výhody**:

- a) inertní plyn zabezpečuje efektivní ochranu svarové lázně a přehřáté oblasti základního materiálu před účinky vzdušného kyslíku,
- b) inertní plyn zabraňuje propalu prvků a tím i vzniku strusky – výsledkem je čistý povrch svaru,
- c) vytváří velmi příznivé formování svarové housenky na straně povrchu i kořenové části svaru,
- d) nevyžaduje použití tavidel, ale lze je použít,
- e) vytváří elektrický oblouk vysoké stability v širokém rozsahu svařovacích proudů,



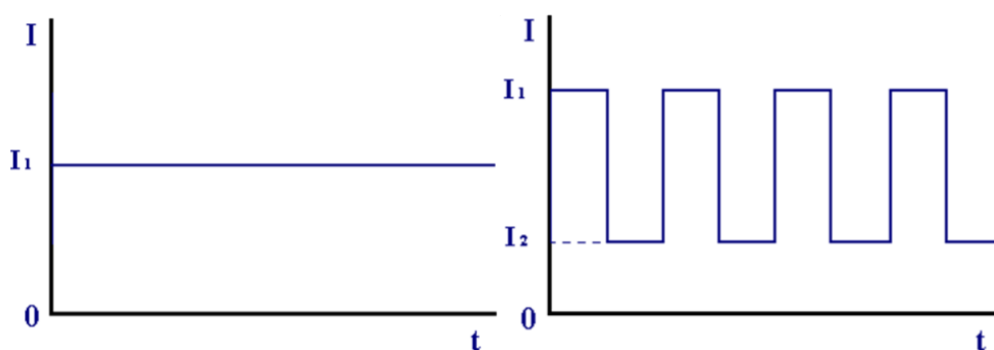
**Obrázek 45:** Svařování na podložku WIG v EGE, s. r. o. [vlastní zdroj]

Nejnovější variantou WIG svařování, při kterém se intenzita elektrického proudu mění pravidelně s časem mezi dvěma proudovými hladinami, je **pulzní svařování**. Principem je periodické střídání vyšší  $I_1$  a nižší  $I_2$  hodnoty proudu. Základní proud  $I_1$  je nastaven svářečem na požadovanou hodnotu. Tento proud zajišťuje dobrý průvar. Proud  $I_2$  nastavuje svářeč manuálně,

nebo jej nastavuje automaticky svářečka v závislosti na hlavním proudu  $I_1$ . Velikost  $I_2$  se většinou volí v procentech hlavního proudu  $I_1$  (20 až 50 %). [38]

Proud  $I_2$  zajistí ionizaci prostředí a tedy podržení hořícího oblouku, ale nestačí k vytvoření tavné lázně a materiál se ochladí. Výsledkem je menší tepelné ovlivnění základního materiálu. Správně nastavenými pulzy lze úspěšně ovlivňovat hloubku závaru a šířku svaru. Dochází k menšímu promísení základního materiálu, což přináší výhody při svařování heterogenních spojů. [38]

Běžný pulz o frekvenci 0,25 až 25 Hz je ideální pro svařování nerez oceli a tenkých plechů. Pomáhá svářeči řídit svařovací proces a získat tak přesnou a vzhledově pěknou svarovou housenku. Vysokorychlostní pulz o frekvenci 20 až 600 Hz má zúžený oblouk a důsledkem toho je výrazně menší tepelně ovlivnitelná oblast.



**Obrázek 46** Konstantní a pulzní svařovací proud [38]

Pravděpodobně nejvýznamnější výhodou WIG svařování je výborná kontrola nad svarovou lázní. Přídavný materiál si svářeč do lázně přidává dle potřeby. Touto metodou lze svařovat i bez přídavného materiálu, například u lemového spoje roztavením lemu, svarový kov má na 100 % shodné chemické složení se základním materiálem.

**Impulzním svařováním** lze svařovat plechy tloušťky 0,5 až 5 mm bez použití podložek, umožňuje širokou oblast regulace svařovacího proudu, lepší celistvost a plastické vlastnosti svarů, menší deformace z důvodu snížení tepelného ovlivnění materiálu, svar má výhodný průřez. Tohoto způsobu svařování lze využít při svařování různých tlouštěk, u materiálů citlivých na přehřátí, vytvářet jednostranně přístupné svary, svařovat kořen trubek větších tlouštěk, apod.



**Obrázek 47:** Koutový svar poloha PB Plech 16 mm [36]



**Obrázek 48 :** Krycí vrstva tupého svaru poloha PF Plech 12 mm [36]

Jelikož je teplotní pole velmi úzké, lze dosáhnout velké hloubky závaru. Navíc je možné efektivně regulovat přísun tepla do svaru. WIG oblouk je možné v určitých případech tvarovat (prodlužovat, zkracovat, zužovat, rozšiřovat a ohýbat) a dosahovat tak různých tepelných účinků na svařovaný materiál.



**Obrázek 49:** Krycí vrstva tupého svaru poloha PA Plech 12 mm [36]

Svarová lázeň je výborně chráněna před škodlivými účinky vzduchu (hlavně vzdušného kyslíku). To je zajištěno použitím inertních plynů jako ochranné atmosféry. Zajímavá je také možnost svařování více tenkých materiálů. Metodou WIG lze svařovat velice tenké materiály,

při svařování se používají i velmi malé proudy (od jednotek ampér). V extrémních případech při použití speciálních zdrojů a hořáků lze svařovat i kovové fólie či šperky proudy menšími než 1 A. [2]

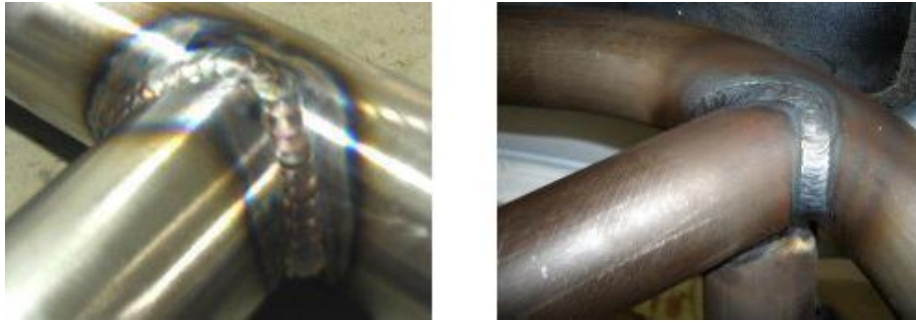
### **Nevýhody WIG svařování**

Vysoká technická náročnost na svařovací zařízení, zejména při WIG svařování střídavým proudem. Zařízení pro WIG svařování jsou obecně komplikovanější a dražší, než svářečky pro jiné běžné metody svařování. To platí zejména pro svářečky umožňující svařovat metodou WIG střídavým proudem. Tyto svářečky jsou dosti složité, mají velký počet regulačních prvků a jsou tedy i dosti drahé. Zásadnější nevýhodou je malá produktivita.

Ruční svařování metodou WIG je pomalé, je to dáno precizností metody. WIG se proto nehodí na sériovou výrobu relativně jednoduchých svařenců, ale spíše na tvarově složité konstrukce z ušlechtilých materiálů. V některých případech, jako je svařování potrubí, se metodou WIG svařují pouze kořenové vrstvy, u kterých záleží na kvalitě. Výplňové a krycí vrstvy se pak dělají efektivnějšími metodami (MMA, MIG/MAG). Malou produktivitu lze odstranit automatizací. [2]

### **Typické aplikace WIG svařování:**

- náročné kořenové vrstvy potrubí produktovodů. Další vrstvy se obvykle pokládají produktivnější metodou,
- trubky kotlů v energetice,
- tvarově složité konstrukce, zejména trubek z hliníkových materiálů a nerez ocelí (rámy kol, motorek, ochranné rámy off-road automobilů, zábradlí, žebříky a kovový nábytek),
- svařování speciálních materiálů a heterogenních spojů (vysoce legované a nástrojové oceli, oceli pro energetiku, hliníkové materiály, titan, měď a bronzy, hořčík apod.),
- svařování velmi tenkých materiálů. [2]



**Obrázek 50:** Ukázky svarů provedených metodou WIG [17]

### 6.2.3. Strojní svařování WIG

Ve srovnání s ručním svařováním se mechanizované a robotizované svařování WIG vyznačuje lepší ekonomičností a kvalitou svarů.

Cílem strojního svařování je:

- a) zvýšení kvality a užitečných vlastností svarového spoje s vyloučením vlivu manuálního vedení hořáku – kolísání délky oblouku, nepřesnosti vedení hořáku ve svarovém úkosu, kolísání rychlosti svařování, nedostatky plynové ochrany apod.,
- b) zlepšování hospodárnosti procesu úsporou plynu a přídavných materiálů,
- c) snížit podíl lidské práce při nedostatku kvalifikovaných svářečů,
- d) zlepšit produktivitu svařování zvýšením rychlosti a využitím vysokovýkonných variant svařování (např. metoda horkého drátu nebo více hořákové svařování),
- e) rozšířit okruh aplikací o svařování těžko svařitelných kovů. [4]

#### Způsoby zabezpečení kvality svarových spojů

1. Stabilizace vstupních parametrů, do kterých patří příprava a opracování polotovarů s předepsanou geometrií úkosů, minimálními tolerancemi, předepsaným stavem povrchu a definovaným upnutím.
2. Stabilizace rozhodujících svařovacích parametrů jako je svařovací proud a napětí, rychlost svařování, délka svařovacího oblouku a polohy hořáku. Napětí na téměř konstantní hodnotě udržuje napěťový stabilizátor, který zajišťuje 0,5 –10 % kolísání síťového napětí.



Ke stabilizaci napětí slouží i rychlostní stabilizátory, polohové stabilizátory polohovadel a snímače polohy svarku k poloze hořáku. U svařování WIG se používají dotykové tenzometrické snímače polohy jednosouřadnicové nebo dvousouřadnicové, indukční, kapacitní, obloukové, optické, laserové a elektrodotové kontaktní. Dále pak optické a laserové polohové snímače vybavené CCD kamerou. Největší podíl doposud mají obloukové snímače založené na vyhodnocování změn svařovacích parametrů na oblouku.

3. Programové ovládání svařovacích parametrů umožňuje řídit celý svařovací proces z hlediska nastavení a změn svařovacích veličin (proudu, napětí, rychlosti, průtoku ochranného plynu, dále pak pohybové operace robota, polohovadla nebo mechanizace vedení hořáku – rozkvy hořáku, vzdálenost hořáku apod.
4. Řízení se zpětnou vazbou je v současné době realizováno elektronickou cestou s využitím zpětné vazby. Např. systém se CCD kamerou s využitím laseru snímá tvar svarové lázně a porovnává ho s požadovaným tvarem spolu s vyhodnocením a korekcí odchylek. Zpětná vazba umožňuje zabezpečit konstantní geometrii svarové housenky i při měnících se parametrech svařování, například tloušťce materiálu, změně tvaru úkosu apod. Jiný způsob automatického řízení se zpětnou vazbou využívá dotykové měření teploty svarové housenky těsně za obloukem, nebo ze strany kořene svaru. [4]

Strojní svařování se používá pro mechanizované způsoby svařování rovinných svarových spojů a vysokolegovaných ocelí i hliníku o tloušťce přibližně 5 mm.

Klasické svařování WIG má však ve srovnání s jinými metodami nižší produktivitu, a proto se ve vhodných aplikacích doporučuje využít výkonnější modifikace:

- a) Svařování zúženým obloukem, při kterém se zvyšuje stabilita oblouku a oblouk se zúží. Vnitřní průměr elektrody  $d = 2$  až  $4$  mm. Toto svařování se používá u tupých svarů do tloušťky 5 mm bez mezery pro Cu, Al a jejich slitiny.
- b) Svařování MULTIWIG (multikatoda) je dvou až čtyřobloukové svařování. Vzdálenost elektrod je tak malá, že se vytváří pouze jedna dlouhá svarová lázeň. Rychlost svařování je do  $10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a využívá se pro podélné spoje při výrobě tenkých trubek.

- c) U tandemového svařování WIG – WIG a WIG – MIG přední hořák (jeden nebo dva) slouží k předehřevu a zadní pro svařování. Používá se pro oceli vyžadující předehřev a pro svařování Cu až do tloušťky 10 mm.
- d) Oboustranné svařování zkracuje dobu svařování a eliminuje úhlové deformace.
- e) Využití vysokého obsahu vodíku ve směsi s argonem se využívá od 15 až do 35 % vodíku. Zvyšuje se životnost elektrody, průvar a rychlost svařování.
- f) U svařování horkým drátem je přiváděný drát předehříván odporovým teplem při průchodu proudem napájeného zvláštním zdrojem. Drát je přiváděn do tavné lázně při teplotě blízké se teplotě tavení. Tato metoda má až čtyřikrát vyšší výkon navaření, vzniká menší riziko studených spojů, nižší nebezpečí vzniku pórovitosti, lepší přenos legujících prvků do svaru (tavící drát neprochází obloukem), přiváděný přídavný materiál minimalizuje ochlazení tavné lázně, vyšší svařovací rychlost a snížení tepelného ovlivnění základního materiálu.

**Strojní svařování WIG** se také používá v oblasti svařování trubek a při výrobě tepelných výměníků, kde se kromě ručního svařování používá orbitální svařování WIG. Při svařování trubek průměrů přibližně od 200 mm je svařovací hlava navěšena na vodící desku nebo tvarovou vodící dráhu a vykonává kruhový pohyb o cca 370° tak, aby bylo zajištěno překrytí začátku svaru. Svařovací hlava se skládá z vlastního hořáku, podavače drátu a pohybového ústrojí, které zajišťuje kruhový pohyb hlavy a oscilační pohyb hořáku ve svarovém úkosu. [4]

Větší tloušťky trubek se svařují do úzkého úkosu upravenou svařovací trubicí. Menší průměry trubek od 10 do 220 mm se svařují hlavou navěšenou na upínací kleště, které provedou pevné a rychlé upnutí na vnějším průměru trubky. V dnešní době tato zařízení provádějí svařování pulzním proudem a pulzováním podávaného drátu a regulací parametrů svařování v závislosti na poloze hořáku na trubce. [4]

U nejmodernějších zařízení se používá vizuální sledování oblouku a procesu svařování pomocí CCD kamer s možností archivace na CD. Orbitální mechanizované svařování se používá hlavně při výrobě součástí jaderných a tepelných elektráren, kotlů, chemických, petrochemických a potravinářských zařízení. [4]



**Obrázek 51: Orbitální svařování trubek [27]**

Při orbitálním svařování jsou programovány a konstruovány veškeré potřebné parametry.

Programovací funkce:

- přívod formovacího plynu ke kořeni svaru,
- přívod ochranného plynu do případně použité komůrky,
- přívod ochranného plynu do plynové trysky hořáku,
- svařovací cyklus s programováním různých úrovní proudu,
- rotace svařovací hlavy,
- posuv přídavného materiálu,
- regulace vzdálenosti hořáku a tím i délky oblouku,
- nastavení příčného pohybu hořáku. [4]

### 6.3. Doporučení pro praxi

Hliník má velké výhody, je lehký, má vysokou pevnost, dobrou odolnost proti korozi a lze jej dobře tvářet. Klasickým příkladem aplikace je stavba kolejových vozidel, výroba osobních automobilů, jízdních kol, vzduchotechniky, strojů, nádrží, stavba lodí, své uplatnění nachází i ve stavebnictví.

#### a) Co je třeba u hliníku zejména respektovat?

Vrstva oxidu s vysokou teplotou tavení na povrchu hliníku vyžaduje MIG svařování střídavým proudem. Chování při tavení je podstatně jiné než u oceli a kvůli vysoké tepelné vodivosti je třeba dávat pozor zejména na dostatečný závar na bocích svarové housenky.

Hliník je choulostivý na vodík, proto je třeba zajistit správné skladování přídavných materiálů, čistotu svarových ploch a kvalitní přívod ochranného plynu.

#### **b) WIG nebo MIG svařování?**

Pokud jde o vysokou spolehlivost procesu, je WIG na prvním místě. Svařování MIG použijeme, jde-li o vysoký výkon. WIG svařování používané převážně u plechů se dá optimalizovat úpravou parametrů střídavého proudu. MIG svařování se též používá tam, kde jsou kladeny vysoké požadavky na kvalitu. Nezbytným předpokladem je zde použití pulzních zdrojů. Vysoké nároky na systém podávání drátu splňují pohony se čtyřmi kladkami, push-pull systémy a systémy s teflonovou vložkou bowdenu. [22]

#### **c) Základní materiály**

Legující prvky a výrobní proces určují vlastnosti materiálu. Je třeba rozlišovat nevytvrditelné a vytvrditelné slitiny (ČSN EN 573). Jako nevytvrditelné materiály se používají především slitiny AlMg s vysokou přirozenou tvrdostí. Ve výrobě vozidel se používají zejména vytvrditelné slitiny typu AlZnMg nebo AlMgSi. Některé odlévané slitiny jsou kvůli své choulostivosti na tvorbu póru pro svařování vhodné pouze podmíněně. [22]

#### **d) Přídavné materiály**

Hliník se svařuje převážně přídavnými materiály stejného nebo obdobného typu. Aby se zabránilo tvorbě trhlin, používají se přídavné materiály typu AlMg nebo AlMgMn i pro vytvrditelné materiály. Přísady AlSi vykazují menší pevnost, mají však velmi příznivé chování při svařování. Kromě toho jsou důležitá i kritéria odolnosti proti korozi a následné povrchové úpravy. Jako drátové elektrody se používají převážné průměry 1,2 mm a 1,6 mm. [22]

#### **e) Příprava svarových ploch a předehřev**

Rozhodující význam při svařování hliníku má čistota procesu. Při opracování svarových ploch je třeba dát přednost frézování před broušením. Zejména při WIG svařování by měly být spodní hrany svaru lehce opracovány frézováním. Od tloušťky plechu cca 8 mm lze doporučit předehřev (80 °C až 150 °C). [22]

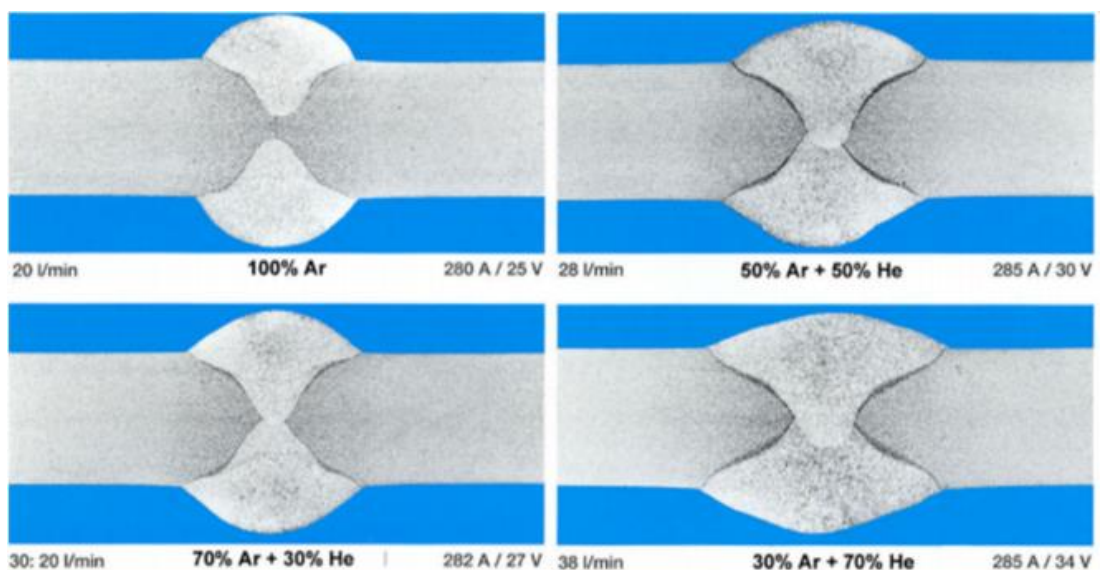
### 6.3.1. Ochranné plyny

Hlavní úlohou ochranných plynů je zamezit přístupu vzduchu do oblasti svařování, ochranné plyny chrání elektrodu, oblouk i tavnou lázeň. Chrání její okolí a kořen svaru před účinky vzdušného kyslíku, který způsobuje oxidaci, naplynění, pórovitost a propal prvků. Ochranné plyny mají také významný vliv na typ přenosu kovu v oblouku, přenos tepelné energie do svaru, chování tavné lázně, hloubku závaru, rychlost svařování a další parametry svařování.

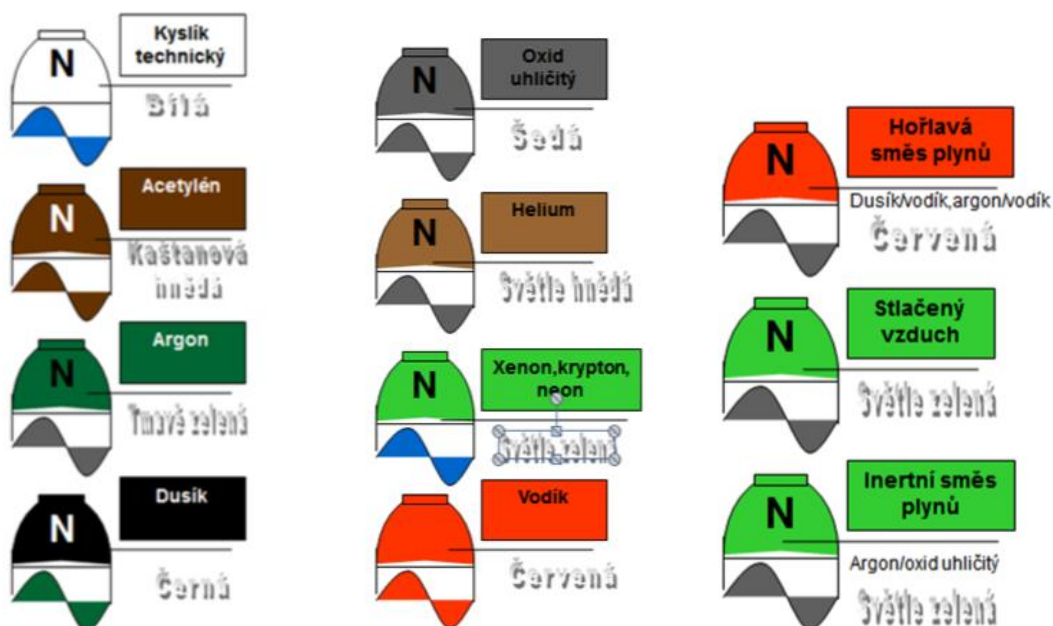
Ochranný plyn svým složením a množstvím ovlivňuje tyto charakteristiky svařování:

- vytvoření ionizovaného prostředí pro dobrý start a hoření oblouku,
- síly působící v oblouku,
- tvar a rozměry oblouku,
- tvar a rozměry průřezu svaru,
- hladkost povrchu svaru s jeho přechod na základní materiál,
- kvalitu, celistvost a mechanické vlastnosti svarového spoje.

Inertní plyny „I“ argon, helium a jejich směsi chemicky nereagují se svarovou lázní a propal prvků ve svarovém kovu je minimální, nemají proto vliv na výsledné chemické složení svarového kovu. Inertní, případně nereagující plyny používáme pro svařování metodou WIG 141 všech svažitelných materiálů.

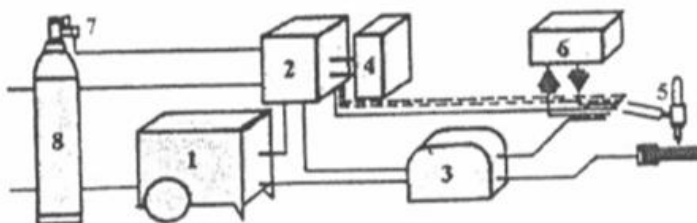


**Obrázek 52:** Důsledek záměny plynů u metody WIG [28]



Obrázek 53: Barevné značení tlakových lahví ČSN EN 1089 – 3 [23]

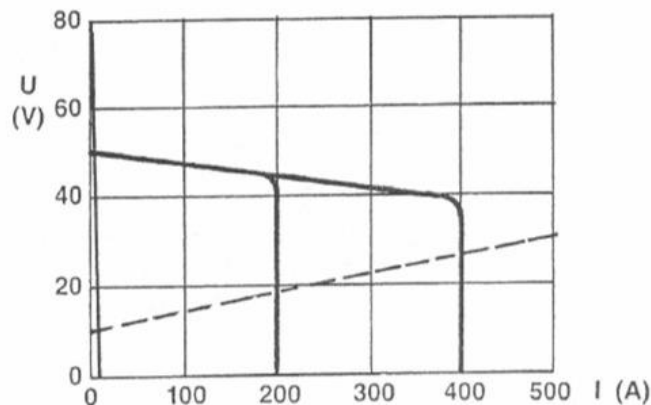
### 6.3.2. Základní sestava zařízení pro svařování WIG stejnosměrným proudem



Obrázek 54: Základní sestava zařízení pro svařování WIG stejnosměrným proudem [4]

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| 1 – zdroj stejnosměrného proudu        | 5 – svařovací hořák   |
| 2 – řídicí jednotka svařovacího proudu | 6 – chladicí jednotka |
| 3 – zapalovací jednotka                | 7 – redukční ventil   |
| 4 - programátor                        | 8 – zásobník plynu    |

Zdroj stejnosměrného proudu je usměrňovač se síťovým transformátorem, nebo inverter se strmou statickou charakteristikou. Napětí naprázdno bývá obvykle vyšší než 75 V. Na obr. 49 je vyznačena strmá charakteristika zdroje s vyznačenou standardní charakteristikou oblouku. Standardní pracovní přímka pro WIG metodu  $U = 10 + 0,04 \times I$ .



**Obrázek 55:** Voltampérová charakteristika zdroje pro WIG svařování [4]

**Zapalovací jednotka** zabezpečuje jiskrové bezkratové zapálení oblouku pomocí vysokofrekvenčního vysokonapěťového ionizátoru, nebo zkratem při velmi malém zapalovacím proudu, maximálně 6 A.

**Řídícím prvem** je při oddalování elektrody automaticky zvyšován proud na svařovací hodnotu.

**Programátor** v přímé návaznosti na řídicí jednotku zabezpečuje nastavení předfuku a dofuku plynu, zapínání a regulaci okruhu chladicí vody, aktivuje činnost ionizátoru a při mechanizovaném způsobu svařování řídí veškerý pohyb hořáku, případně celé svařovací hlavy. V případě robotizovaného svařování je napojen přímo na řídicí systém robota.

**Svařovací hořák WIG** zabezpečuje vlastní svařovací proces a bude popsán dále.

**Chladicí jednotka** zabezpečuje cirkulaci chladicí vody v celém systému. Skládá se ze zásobníku chladicí vody, čerpadla s elektromotorem, ventilátoru na chlazení vody a propojovacích hadic a včetně rychlospojek.

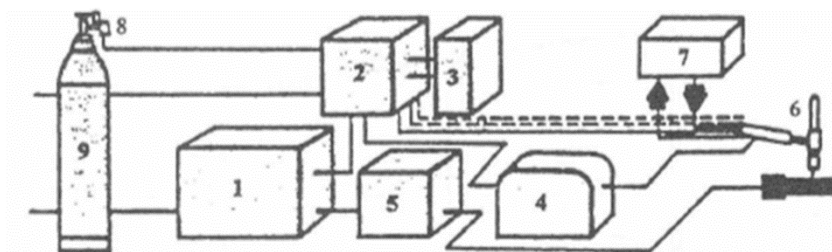
**Zásobník ochranného plynu** zabezpečuje spolu s **redukčním ventilem** požadovaný trvalý tlak plynu s nastaveným průtokem. Nejběžnější je tlaková láhev o objemu 10, 40 a 50 litrů. Pro velký odběr inertního plynu jsou ekonomicky výhodné kapalné plyny v mobilních odpařovacích nádobách.

**Spojovacími a propojovacími** prvky mezi jednotlivými částmi jsou vodiče a hadice různých průměrů a délek. Všechny komponenty tvoří jeden celek svařovacího zařízení. [13] [4]

### 6.3.3. Zařízení na svařování WIG střídavým proudem

Zařízení na svařování střídavým proudem je ve srovnání se svařováním stejnosměrným proudem složitější, přestože většina komponentů je stejných.

Starší zařízení se liší především zdrojem a u všech zařízení je doplněn stabilizátor oblouku a baterie kondenzátorů.



**Obrázek 56:** Zařízení na svařování střídavým proudem [4]

- |                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| 1 – zdroj střídavého proudu | 2 – řídicí jednotka     |
| 3 – stabilizátor oblouku    | 4 – zapalovací jednotka |
| 5 – baterie kondenzátorů    | 6 – svařovací hořák     |
| 7 – chladicí jednotka       | 8 – redukční ventil     |
| 9 – zásobník plynu          |                         |

**Zdroj střídavého proudu** je nejčastěji svařovací transformátor upravený na svařování WIG pomocí výkonových elektronických prvků, které zvyšují strmost statické charakteristiky.

**Řídicí jednotka** obsahuje prvky k ovládání svařovacího procesu – začátek a ukončení svařování, náběh na začátku a sestup proudu na konci procesu, řízení různých úrovní proudu při svařování složitých svarků s různou tloušťkou materiálu, tzv. mini logika, pulzní jednotku, zapínání a přerušování proudu.



U nových invertorových zdrojů je střídavé napětí odebíráno za vf transformátorem. Při svařování střídavým proudem je stabilizátor zdrojem vysokonapěťových impulzů s vysokou frekvencí, které působí pouze v okamžiku, kdy má svařovací proud nulovou hodnotu a plní funkci pomocné zapalovací jednotky – ionizátoru. Běžný stabilizátor indukuje do svařovacího obvodu napětí 2 500 až 6 000 V o frekvenci 2 až 5 MHz.

Při svařování hliníku a jeho slitin má důležitou úlohu i baterie kondenzátorů, která vyrovnává deformovaný sinusový průběh, ten je způsoben rozdílným ionizačním potenciálem wolframu a hliníku, zlepšuje se tím čistící efekt svařovacího oblouku. U moderních svařovacích zařízení má střídavý proud obdélníkový průběh a je vybaven funkcí „balance“, která umožňuje rozšíření nebo zúžení kladné, případně záporné periody proudu. Touto funkcí lze posílit buď čistící efekt, při kladné periodě v případě zoxidovaného povrchu, nebo zvýraznit hloubku závaru při záporné periodě.

Novinkou v oblasti vyvážení střídavého průběhu proudu je systém D. O. C. Dynamic Oxide Control, který automaticky sleduje okamžitou potřebu čištění svarové lázně a podle toho reguluje napájení kladné periody. V případě vysoké čistoty povrchu je výrazně posílena půlvlna periody a tím je využito maximální množství energie pro tvorbu svarové lázně a zároveň klesá tepelné zatížení wolframové elektrody. [13] [4]

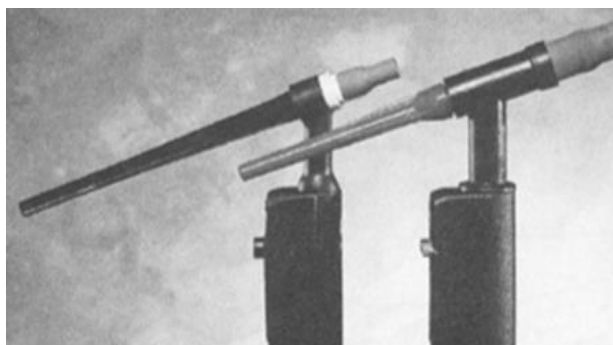
#### **6.3.4. Svařovací hořáky WIG**

Nejzatíženější částí svařovacích zařízení jsou svařovací hořáky, které zajišťují přívod elektrického proudu k elektrodě, přívod a usměrnění ochranného plynu, fixování polohy wolframové elektrody, přívod o odvod chladící vody.

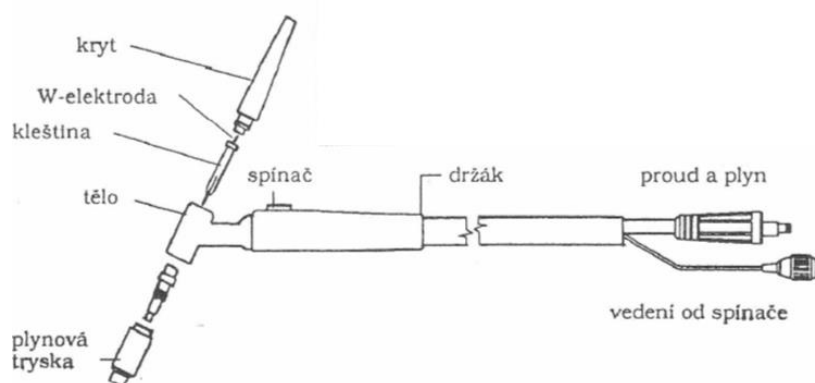
Hořáky rozdělujeme na chlazené procházejícím proudem do přibližně 150 A a vodou chlazené hořáky do 350 až 500 A pro ruční, ale především strojní svařování. Hořáky mají vyměnitelné kleštiny, které zajišťují pevné upnutí a proudové napájení wolframových elektrod.

Pevné upnutí je důležité z hlediska snížení přechodového odporu mezi kleštinou a wolframovou elektrodou. Kleštiny jsou vtlačovány do kuželového otvoru pomocí ručně šroubované matice s krytem na elektrodu.

Další tepelně zatíženou částí je plynová tryska, která usměrňuje proudění plynu domísta svařování. Keramické trysky se používají pro ruční hořáky chlazené procházejícím plynem a kovové, nejčastěji měděné a pochromované, jsou vhodné pro strojní hořáky chlazené vodou.

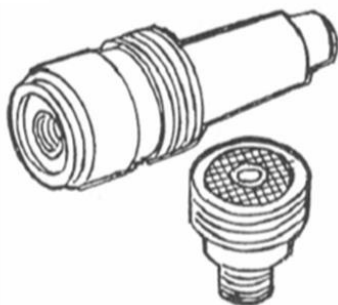


**Obrázek 57:** Svařovací hořáky [13]



**Obrázek 58:** Svařovací hořák [13]

Pro zlepšení plynové ochrany se často používají plynové čochky (sítka), které prodlouží laminární proudění plynu a usnadní přístup k místu svařování vysunutím elektrody. Plynová síťka může snížit množství ochranného plynu až o 50 % a umožní vysunutí elektrody na 15 až 20 mm. [13] [4]



**Obrázek 59:** Plynová sítko [13]

### **Svařovací tyč – přídatný materiál**

Přídavek materiálu při manuálním je zajištěn vnořením do prostoru oblouku. Materiál tyče je velmi často shodný se svařovaným základním materiálem, často obsahuje přísady, např. deoxidanty. Výběr tyče je ovlivněn tloušťkou materiálu, typem spoje a požadavky na vlastnosti spoje.

### **Ochranné plyny**

Ochranné plyny chrání svařované místo proti vzdušné vlhkosti a nečistotám, a to vytěsněním atmosférického vzduchu plynem. Pro svařování WIG (TIG) se používají argon, helium, směsi argon/helium a argon/kyslík. Při práci s argonem je oblouk stabilní, ale místo svaru se ochlazuje, proto je vhodnější pro tenké materiály. Argon je levnější, než helium, proto je častěji používán, helium způsobuje vyšší teploty, doporučuje se pro materiály s vyšší tepelnou vodivostí, je lehčí než vzduch a proto se při práci spotřebuje mnohem větší množství než při použití argonu.

### **Elektrody**

**Čisté wolframové elektrody** – použití pro nízké střídavé proudy, oblouk je stabilnější, pořizovací cena nízká.



**Obrázek 60:** Svařovací hořák s elektrodami, měděnými kontaktními špičkami a keramickými (růžovými) plynovými hubicemi [35]



**Obrázek 61:** Rozebraný svařovací hořák při výměně elektrody [35]

**Thorium – wolframové elektrody** – nevhodné pro vysoké proudy, oblouk se snadno zapálí a zůstává stabilní. Doporučují se pro svařování stejnosměrným proudem a přímou polaritou.

**Zirkon – wolframové elektrody** – použití pro ruční svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin, při středních proudech.

**Cerové elektrody** – určeny pro svařování s požadavkem na vysokou emisi elektronů a hlubokou penetraci do materiálu. [15]

## 7. Závěr

Ve společnosti EGE, s. r. o. se provádí svařování WIG ruční i strojní. Stojní svařování na automatu BOKI, který provádí svařování příčných svarů u přímých vodičů. Svařovací automat je vybaven vlastní odsávací stanicí. U zapouzdřených vodičů, které se vyrábí v EGE, s. r. o., se uplatňuje pravidlo, že velikost svaru musí být stejná, jako je tloušťka základního materiálu, nebo větší.

Metoda WIG je nejprogresivnější rozvíjející se metodou svařování kovů v ochranném plynu, nejčastěji v argonu a héliu, popř. jejich směsí. Nejnovější variantou WIG je impulzní svařování, při kterém se intenzita elektrického proudu mění pravidelně s časem mezi dvěma proudovými hladinami. Výsledkem použití svařování impulzním proudem je dosažení velice přesné regulace svařovacího režimu, a tím dávkování vneseného tepla do svaru a tvarování svarové lázně. Čím vyšší frekvence impulzů, tím může být vyšší svařovací rychlost. Jedná se o bezdotykové svařování, při kterém se oblouk snadno zapálí.

Průměrná hodnota svařovacího proudu je při impulzním svařování nižší než při klasickém způsobu svařování s konstantním proudem, proto vykazují svary výborné plastické vlastnosti, včetně nižší náchylnosti na praskání a menší deformace, oxidy drží pohromadě materiál.

Při WIG svařování se kromě argonu v důsledku vysoké teploty vyvíjí i různé kovové páry, které svářeč při nedokonalém odsávání může vdechnout. Při svařování hliníku dochází působením UV záření z oblouku na okolní vzduch k vývinu ozónu. Při správném umístění svařence vůči svářeči a správném odsávání, tento horký plyn odchází mimo dýchací zónu.

Zákoník práce ukládá každému pracovníkovi mimo jiné dodržovat předpisy a pokyny k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, používat při práci osobní ochranné pracovní prostředky a ochranná zařízení, účastnit se školení a výcviku v zájmu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a podrobit se stanoveným zkouškám a lékařským prohlídkám.

## 8. Vyhodnocení stanovených cílů a přínos práce

### Teoretické cíle práce

Byla vyhledána vhodná literatura, hlavně pak ve společnosti EGE, s. r. o., kde pracuji. Od Ing. Pavla Kálala, vedoucího svářečské školy jsem si vypůjčil literaturu, kterou firma využívá ke školení svářečů. Byla mi zapůjčena technická literatura a některé normy, jejichž části jsem uvedl v příloze. Nemohl jsem však vytvořit jejich kompletní seznam, s ohledem na interní know-how společnosti. Podařilo se mi v plném rozsahu definovat základní pojmy při svařování hliníku a jeho slitin.

### Praktické cíle práce

V práci byly popsány všechny způsoby tavného svařování, jejich výhody, nevýhody a použití.

V další části jsou názorně vyobrazeny jednotlivé polohy svařování a jejich označení podle nejnovějších norem a uvedeny hlavní zásady pro označování svarů na výkresech, rozměry svarů, základní a doplňující značky. Některé obrázky nejsou zcela čitelné, z důvodu nevhodné kvality skenování a osvětlení při focení.

Dokázal jsem rozdělit hliníkové slitiny podle tepelného zpracování a provedl charakteristiku jejich vlastností při svařování.

Je uveden diagram tepelného zpracování a postup při tepelném zpracování hliníkových slitin a základní podmínky pro jejich svařování.

Popsal jsem jednotlivé druhy elektrického oblouku, uvedl možnosti jeho zapalování a způsoby stabilizace a porovnal metodu MIG a WIG, splnil jsem i problematiku svařování WIG a detailně popsal sestavu WIG stejnosměrným i střídavým proudem a impulzní svařování.

**Z hlediska pedagogického** jsou řazeny kapitoly v takovém sledu, aby na sebe vzájemně navazovaly a byly přehledné. Z didaktického pohledu je v práci zobrazena řada obrázků. V příloze jsou pak uvedeny příklady norem. Jsem přesvědčen, že tento text bude dobře srozumitelný a využitelný pro další cíle pedagogického vzdělávání.

## 9. Informační zdroje

### Použitá literatura

- [1] MALINA Z., NÉMA M. Základní kurz svařování ZK 141 W 21, Zeross – svářečské nakladatelství Ostrava 2004, ISBN 80-86698-02-5.
- [2] Svarinfo. cz, Magazín technického svařování
- [3] Kolektiv autorů. Technologie svařování a zařízení. Ostrava: Zeross, 2001. ISBN 80-85771-81-0.
- [4] AMBROŽ, Oldřich, KANDUS, Bohumil, KUBÍČEK, Jaroslav. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 1. vydání. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
- [5] Materiály a jejich svařitelnost: Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 2. upr. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 292 s. ISBN 80-857-7185-3.
- [6] HRIVŇÁK, Ivan. Teória zvariteľnosti kovov a zliatin. 1. Vyd. Bratislava: Veda, 1989, 343 p. ISBN 80-224-0016-5.
- [7] Kolektiv autorů. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, Zeross – svářečské nakladatelství Ostrava 2000, ISBN 80-85771-72-1.
- [8] NĚMEC M., SUCHÁNEK J., ŠANOVEC J. Základy technologie I. ČVUT, Praha 2006, 136 s., ISBN 80-01-03530-1.
- [9] Kolektiv autorů. Materiály a jejich svařitelnost, Zeross – svářečské nakladatelství Ostrava 1999, ISBN 80-85771-63-2.
- [10] Kolektiv autorů. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení, Zeross – svářečské nakladatelství Ostrava 1999, ISBN 80-85771-70-5.
- [11] Česká technická norma, Svařování – Pracovní polohy – Definice úhlů sklonu a uložení, ČSN EN ISO 6947, Český normalizační institut 1999.
- [12] Česká technická norma, Svarové spoje hliníku a jeho slitin zhotovené obloukovým svařováním. Určování stupňů jakosti ČSN EN ISO 10042, Český normalizační institut 2006.
- [13] MALINA Z., Základní kurz svařování MIG/MAG. 5. vydání. Ostrava: Zeross, 2000. ISBN 80-85771-76-4.
- [14] HLUCHÝ M., KOLOUCH J., PAŇÁK R., Strojírenská technologie 2., 1. díl, Polotovary a jejich technologičnost, Praha 1998, ISBN 80-7183-117-4.

## Informační zdroje z internetu

- [14] <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/2-11-72.pdf>
- [15] [www.telwin.com](http://www.telwin.com)
- [16] [www.automig.cz](http://www.automig.cz)
- [17] [www.svarbazar.cz](http://www.svarbazar.cz)
- [18] [www.autodeskub.cz](http://www.autodeskub.cz)
- [19] [www.geruenalweld.cz](http://www.geruenalweld.cz)
- [20] [www.vlasac.wz.cz](http://www.vlasac.wz.cz)
- [21] [www.ocel.cz](http://www.ocel.cz)
- [22] [www.messer.cz](http://www.messer.cz)
- [23] [www.domzo13.cz/dokumenty/vyuka/svar\\_skoly/znaceni\\_svaru.ppt](http://www.domzo13.cz/dokumenty/vyuka/svar_skoly/znaceni_svaru.ppt)
- [24] [www.ferona.cz](http://www.ferona.cz)
- [25] [www.automig.cz](http://www.automig.cz)
- [26] <http://tzs.kmm.zcu.cz/ohrev.pdf>
- [27] [www.konstrukce.cz](http://www.konstrukce.cz)
- [28] <http://slideplayer.cz/slide/2801850/>
- [29] [www.U12133.fsid.cvut.cz](http://www.U12133.fsid.cvut.cz)
- [30] [www.praha.all.biz](http://www.praha.all.biz)
- [31] [www.svarforum.cz](http://www.svarforum.cz)
- [32] [www.sst.opava.cz](http://www.sst.opava.cz)
- [33] [www.ocel.wz.cz](http://www.ocel.wz.cz)
- [34] [www.hagna.cz](http://www.hagna.cz)
- [35] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Svařování>
- [36] [www.svarovani.rajce.idnes.cz](http://www.svarovani.rajce.idnes.cz)
- [37] <http://www.strojnilyceum.wz.cz/maturita/tep/tep16.pdf>
- [38] <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008122801>



# 10. Přílohy

## Příloha č. 1

ČSN EN ISO 6947

### 1 Předmět normy

Tato mezinárodní norma definuje pracovní polohy a umožňuje určení polohy svarů v prostoru vzhledem k vodorovné referenční rovině (obvykle rovnoběžné s dílenskou základnou) pomocí úhlu sklonu a otočení, které nejsou závislé na okolním uspořádání.

### 2 Definice

Pro účely této mezinárodní normy jsou použity následující definice.

**2.1 pracovní poloha** (working position): poloha určena polohou svaru v prostoru a směrem svařování

**2.2 sklon,  $S$**  (slope,  $S$ ): v případě přímých svarů úhel mezi kladnou částí osy  $x$  vodorovné referenční roviny a linií kořene svaru (viz obrázek 1); sklon je měřen v matematicky kladném směru, tj. proti směru hodinových ručiček

System souřadnic musí být stanoven tak, aby linie kořene ležela ve svislé referenční rovině (rovina  $x/z$ , viz obrázek 1) a pracovní směr směřuje ven od počátku souřadnic.

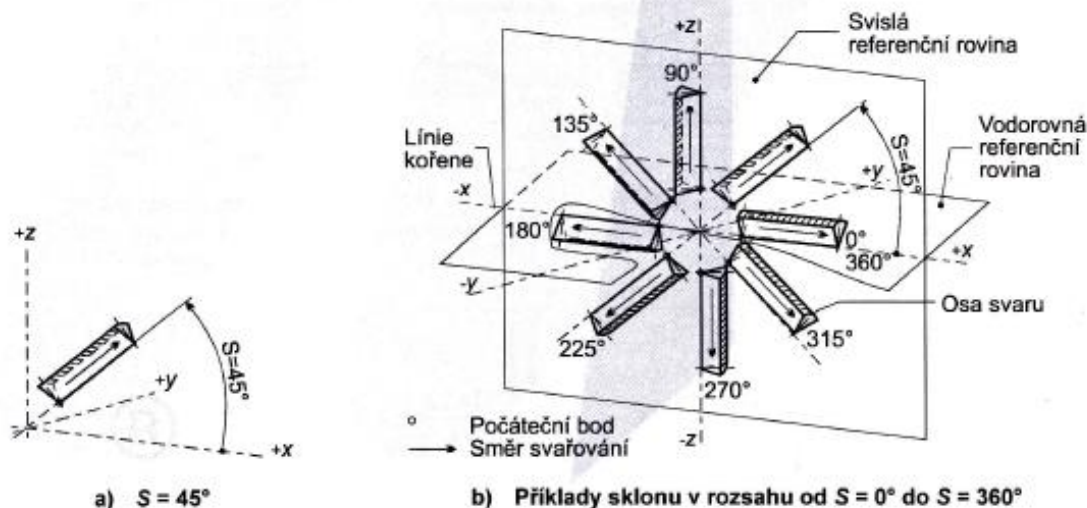
V případě zakřivených svarů platí stejná ustanovení. Sklon je úhel mezi tečnou k zakřivené linii kořene v jednotlivém uvažovaném příčném řezu svaru a osou  $x$ .

Každý jednotlivý příčný řez má svůj vlastní systém souřadnic.

POZNÁMKA - U trubek s nakloněnou osou je sklon vyjádřen směrem svařování (viz 3.2).

**2.3 otočení,  $R$**  (rotation,  $R$ ): úhel mezi osou svaru (tj. čarou spojující středy kořene svaru a krycí vrstvy) a kladnou částí osy  $y$  nebo čarou rovnoběžnou s osou  $y$ ; měřeno v matematicky kladném směru, tj. proti směru hodinových ručiček, v rovině uvažovaného příčného řezu svarem.

Směr pozorování pro příčný řez svarem je orientován směrem k počátku souřadnic, tj. proti směru svařování (viz obrázek 2).



Obrázek 1 - Sklon,  $S$

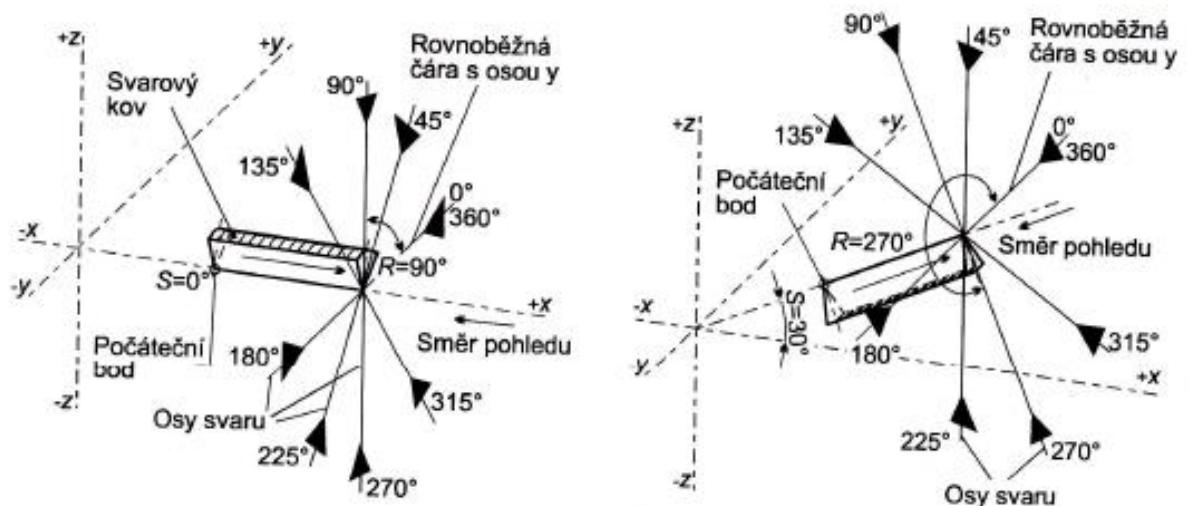
V případě, kdy je sklon  $S = 90^\circ$  nebo  $S = 270^\circ$  (viz obrázek 1), není nutné stanovit úhel otočení, protože se mohou vyskytnout všechny úhly. Příklady stanovení otočení u symetrických a nesymetrických tupých a koutových svarů jsou uvedeny na obrázcích 3 až 5.

Příloha č. 2

ČSN EN ISO 6947

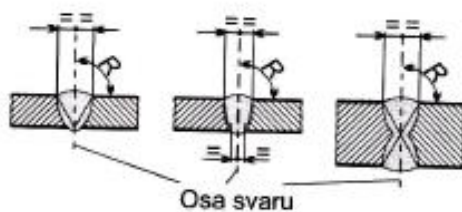
POZNÁMKY

- 1 Osa je obvykle shodná s polohou přídavného materiálu, např. s polohou obalené elektrody.
- 2 U trubek s nakloněnou osou je otočení vyjádřeno úhlem sklonu trubky (viz 3.2.2).

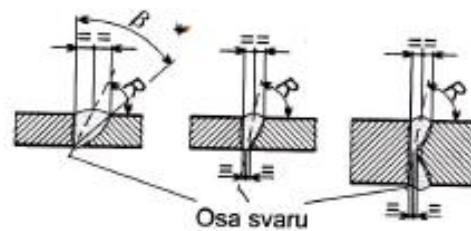


a) Pracovní poloha, kdy  $S = 0^\circ$  (nebo  $360^\circ$ ) a  $R = 90^\circ$     b) Pracovní poloha, kdy  $S = 30^\circ$  a  $R = 270^\circ$

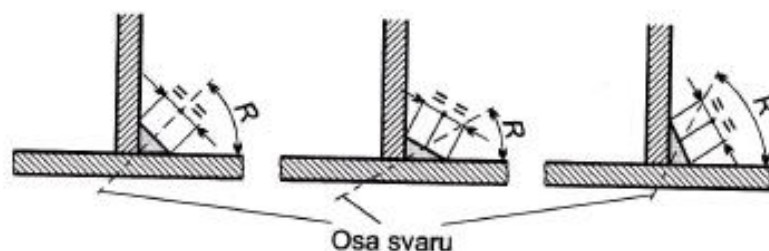
Obrázek 2 - Otočení  $R$



Obrázek 3 - Příklady otočení ( $R = 90^\circ$ ) u symetrických tupých svarů s vodorovným povrchem svarku



Obrázek 4 - Příklady otočení,  $R$ , u nesymetrických tupých svarů s vodorovným povrchem svarku



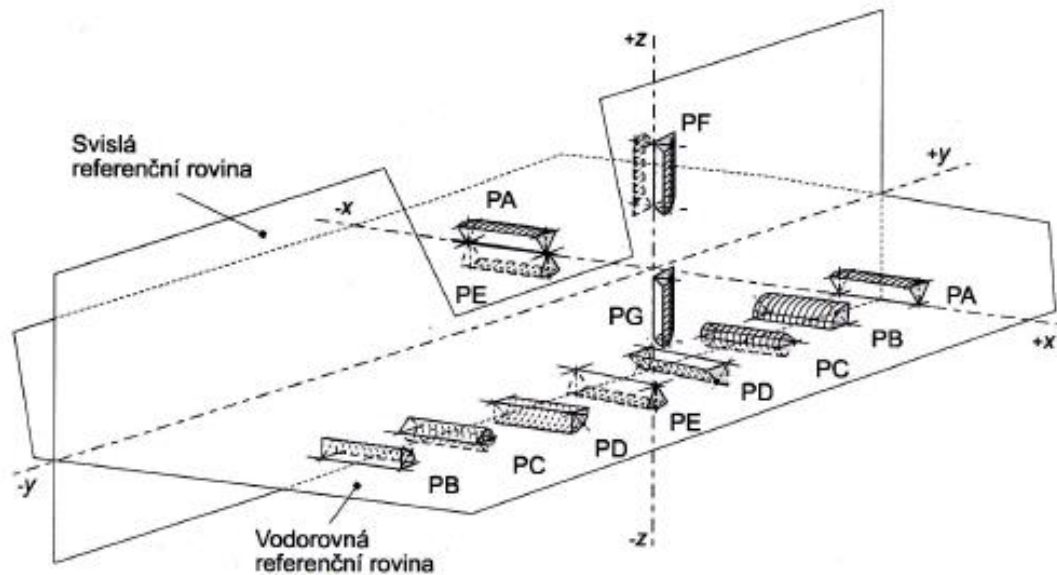
Obrázek 5 - Příklady otočení,  $R$ , u symetrických a nesymetrických koutových svarů

### 3 Pracovní polohy

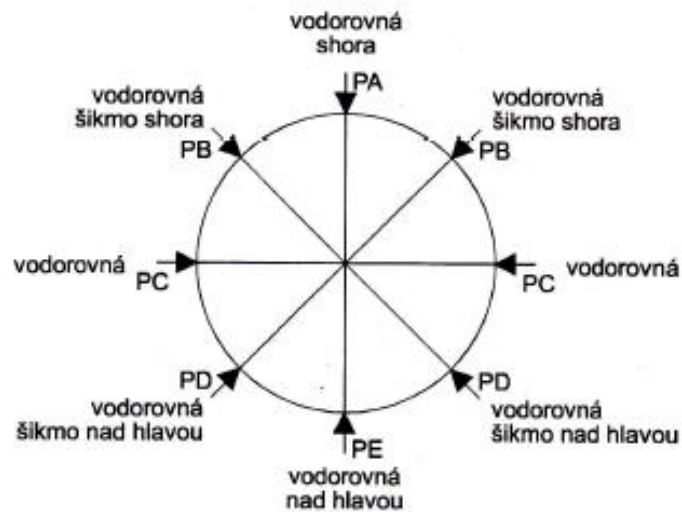
#### 3.1 Hlavní polohy

Hlavní polohy určené sklonem a otočením jsou uvedeny v tabulce 1 a zobrazeny na obrázku 6. Z důvodu jednoznačnosti jsou symboly hlavních poloh uvedeny vzhledem k počátku systému souřadnic a pracovní směr směřuje od počátku souřadnic ven.

Příklady hlavních poloh pro tupé a koutové svary jsou zobrazeny na obrázku 7.



a) Schematický diagram



b) Zjednodušený pohled

Obrázek 6 - Hlavní polohy

Tabulka 1 - Pojmenování a symboly hlavních poloh

Pojmenování	Popis	Symbol	Sklon S	Otočení R
poloha vodorovná shora	Vodorovný směr svařování, svislá osa svaru, krycí vrstva nahoře	PA	0° 180°	90° 90°
poloha vodorovná šikmo shora	Vodorovný směr svařování, krycí vrstva směrem šikmo nahoru	PB	0° 0° 180° 180°	45° 135° 45° 135°
poloha vodorovná	Vodorovný směr svařování, vodorovná osa svaru	PC	0° 0° 180° 180°	0° 180° 0° 180°
poloha vodorovná šikmo nad hlavou	Vodorovný směr svařování, nad hlavou, krycí vrstva směrem šikmo dolů	PD	0° 0° 180° 180°	225° 315° 225° 315°
poloha vodorovná nad hlavou	Vodorovný směr svařování, nad hlavou, svislá osa svaru, krycí vrstva dole	PE	0° 180°	270° 270°
poloha svislá nahoru	Svislý směr svařování zdola nahoru	PF	90°	-
poloha svislá dolů	Svislý směr svařování shora dolů	PG	270°	-
Poznámky				
1 Za účelem vyhnuti se možným záměnám s již používanými zkratkami, např. F pro plochý (z angl. „flat“), bylo ve zkratkách pro označování „hlavní polohy“ jako výchozí písmeno předřazeno „P“ (pro polohu).				
2 Tolerance pro hlavní polohy nejsou v této mezinárodní normě definovány, protože závisí na odlišnostech použitých postupů svařování.				



### 3 Přehled metod a jejich číselné značení

Termín uváděný na prvním místě představuje přednostní termín a následné termíny jsou synonyma.

V příloze B se uvádí přehled obvykle používaných akronymů a zkratk pro metody svařování obsažené v této mezinárodní normě.

Číslo metody	Název metody			
	Česky	English/Anglicky	Français/Francouzsky	Deutsch/Německy
1	Obloukové svařování	Arc welding	Soudage à l'arc	Lichtbogenschweißen (Lichtbogenschmelzschweißen)
11	Obloukové svařování tavící se elektrodou bez ochranného plynu	Metal arc welding without gas protection	Soudage à l'arc avec électrode fusible sans protection gazeuse	Metal-Lichtbogenschweißen ohne Gasschutz
111	Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou	Manual metal arc welding (metal arc welding with covered electrode); Shielded metal arc welding, USA	Soudage manuel à l'arc avec électrode enrobée	Lichtbogenhandschweißen
112	Gravitační obloukové svařování obalenou elektrodou	Gravity (arc) welding with covered electrode; Gravity feed welding, USA	Soudage à l'arc avec électrode enrobée par gravité	Schwerkraft-Lichtbogenschweißen
114	Obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu	Self-shielded tubular cored arc welding	Soudage à l'arc avec fil fourré autoprotecteur	Metal-Lichtbogenschweißen mit Fülldrahtelektrode ohne Schutzgas
12	Svařování pod tavidlem	Submerged arc welding	Soudage à l'arc sous flux (en poudre); soudage à l'arc submergé	Unterpulverschweißen
121	Svařování pod tavidlem drátovou elektrodou	Submerged arc welding with solid wire electrode	Soudage à l'arc sous flux (en poudre) avec un seul fil; soudage à l'arc submergé avec un seul fil-électrode	Unterpulverschweißen mit Massivdrahtelektrode
122	Svařování pod tavidlem páskovou elektrodou	Submerged arc welding with strip electrode	Soudage à l'arc sous flux (en poudre) avec une seule électrode en feuillard; soudage à l'arc submergé avec électrode en bande	Unterpulverschweißen mit Massivbandelektrode
124	Svařování pod tavidlem s přidávkem kovového prášku	Submerged arc welding with metallic powder addition	Soudage à l'arc sous flux (en poudre) avec addition de poudre métallique	Unterpulverschweißen mit Metallpulverzusatz
125	Svařování pod tavidlem plněnou elektrodou	Submerged arc welding with tubular cored electrode	Soudage à l'arc sous flux (en poudre) avec fil fourré	Unterpulverschweißen mit Fülldrahtelektrode

(pokračování)

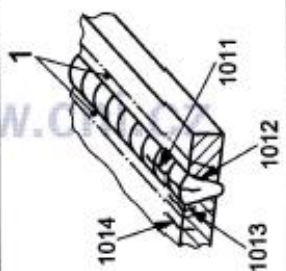
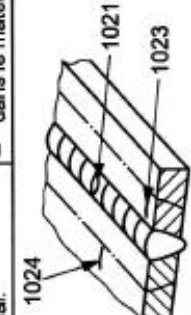
Poskytnuto za poplatku - EGE, spol. s r.o. - Jana Rezkova Rozmnozovanie a rozširovanie českých technických norem alebo jejich časť súhlasu UNMZ je porušením zákona č. 22/1997 Sb. a podľa pokute

(pokračování)

Číslo metody	Název metody				
	Česky	English/Anglicky	Français/Francoisuzsky	Deutsch/Německy	
126	Svařování pod tavidlem plněnou páskovou elektrodou	Submerged arc welding with cored strip electrode	Soudage à l'arc sous flux (en poudre) avec électrode en feuillard fourrée	Unterpulverschweißen mit Füllbandelektrode	
13	Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu	Gas-shielded metal arc welding; Gas metal arc welding, USA	Soudage à l'arc avec électrode fusible sous protection gazeuse	Metall-Schutzgasschweißen	
131	Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu; MIG svařování	MIG welding with solid wire electrode; Gas metal arc welding using inert gas and solid wire electrode, USA	Soudage MIG (soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec fil-électrode fusible)	Metall-Inertgasschweißen mit Massivdrahtelektrode	
132	Obloukové svařování tavící se plněnou elektrodou v inertním plynu	MIG welding with flux cored electrode; Flux cored arc welding, USA	Soudage MIG avec fil fourré de flux (soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec fil-électrode fourré)	Metall-Inertgasschweißen mit schweißpulvergefüllter Drahtelektrode	
133	Obloukové svařování tavící se plněnou elektrodou s kovovým práškem v inertním plynu	MIG welding with metal cored electrode; Gas metal arc welding using inert gas and metal cored wire, USA	Soudage MIG avec fil fourré de poudre métallique (soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec fil fourré de poudre métallique)	Metall-Inertgasschweißen mit metallpulvergefüllter Drahtelektrode	
135	Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu; MAG svařování	MAG welding with solid wire electrode; Gas metal arc welding using active gas with solid wire electrode, USA	Soudage MAG (soudage à l'arc sous protection de gaz actif avec fil-électrode fusible)	Metall-Aktivgasschweißen mit Massivdrahtelektrode	
136	Obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu	MAG welding with flux cored electrode; Gas metal arc welding using active gas and flux cored electrode, USA	Soudage MAG avec fil fourré de flux (soudage à l'arc sous protection de gaz actif avec fil fourré de flux)	Metall-Aktivgasschweißen mit schweißpulvergefüllter Drahtelektrode	
138	Obloukové svařování plněnou elektrodou s kovovým práškem v aktivním plynu	MAG welding with metal cored electrode; Gas metal arc welding using active gas and metal cored electrode	Soudage MAG avec fil fourré de poudre métallique (soudage à l'arc sous protection de gaz actif avec fil-électrode fourré de poudre métallique)	Metall-Aktivgasschweißen mit metallpulvergefüllter Drahtelektrode	
14	Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranném plynu	Gas-shielded arc welding with non-consumable tungsten electrode; Gas tungsten arc welding, USA	Soudage à l'arc avec électrode réfractaire sous protection gazeuse	Wolfram-Schutzgasschweißen	
141	Obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu; WIG, TIG svařování	TIG welding with solid filler material (wire/rod); Gas tungsten arc welding using inert gas and solid filler material (wire/rod), USA	Soudage TIG avec fil d'apport (soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec électrode de tungstène et fil d'apport)	Wolfram-Inertgasschweißen mit Massivdraht- oder Massivstabzusatz; WIG-Schweißen	

(nukračování)

(pokračování)

Referenční č. Reference No. Référence n° Referenz Nr.	Česky Označení a vysvětlení	English Designation and explanations	Français Désignation et commentaires	Deutsch Benennung und Erklärungen
101  1011 1012 1013 1014	<b>Podélná trhлина</b> Trhлина převážně rovnoběžná s osou svaru. Může se vyskytovat – ve svarovém kovu, – na hranici natavení, – v tepelně ovlivněné oblasti, – v základním materiálu.	<b>longitudinal crack</b> crack essentially parallel to the axis of the weld It can be situated – in the weld metal, – at the weld junction, – in the heat affected zone, – in the parent material.	<b>fissure longitudinale</b> fissure sensiblement parallèle de l'axe de la soudure Elle peut se situer – dans le métal fondu, – dans la zone de liaison, – dans la zone thermiquement affectée, – dans le matériau de base.	<b>Längsriß</b> Riß, der im wesentlichen parallel zur Schweißnahtachse verläuft Er kann liegen – im Schweißgut, – in der Schmelzlinie, – in der Wärmeinflußzone, – im Grundwerkstoff.
				
102  1021 1023 1024	<b>Příčná trhлина</b> Trhлина převážně kolmá na osu svaru. Může se vyskytovat – ve svarovém kovu, – v tepelně ovlivněné oblasti, – v základním materiálu.	<b>transverse crack</b> crack essentially transverse to the axis of the weld It can be situated – in the weld metal, – in the heat-affected zone, – in the parent material.	<b>fissure transversale</b> fissure sensiblement transversale à l'axe de la soudure Elle peut se situer – dans le métal fondu, – dans la zone thermiquement affectée, – dans le matériau de base.	<b>Querriß</b> Riß, der im wesentlichen quer zur Schweißnahtachse verläuft Er kann liegen – im Schweißgut, – in der Wärmeinflußzone, – im Grundwerkstoff.
				

(pokračování)



Tabulka 1 (pokračování)

Číslo	Referenční číslo dle ISO 6520-1:1988	Název vady	Poznámky	t mm	Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti			
					D	C	B	B
<b>2 Vnitřní vady</b>								
2.1	100	Trhlina	Všechny druhy trhlin, mimo mikrotrhlin a kráterových trhlin.	≥ 0,5	Nepřípustné	Nepřípustné	Nepřípustné	Nepřípustné
2.2	1001	Mikrotrhlina	Trhlina obvykle viditelná pouze pod mikroskopem (zvětšení 50krát).	≥ 0,5	Přípustné	Přípustnost závisí na druhu základního materiálu s příslušným odkazem na citlivost na trhliny		
2.3	2011	Bublina	Maximální rozměr jednotlivého póru.	≥ 0,5	$d \leq 0,4$ s nebo 0,4 a ale max. 6 mm	$d \leq 0,3$ s nebo 0,3 a ale max. 5 mm	$d \leq 0,2$ s nebo 0,2 a ale max. 4 mm	
2.4	2012	Rovnoměrná pórovitost	Hodnocení pórovitosti se provádí s ohledem na plochu průřezu. Viz příklady uvedené v příloze A.  Hodnocení vad se provádí s ohledem na průmítnou plochu. Viz příklady uvedené v příloze A.	≥ 0,5  0,5 až 3 > 3 až 12 > 12 až 30 > 30	≤ 6 %  ≤ 6 % ≤ 10 % ≤ 15 % ≤ 20 %	≤ 2 %  ≤ 2 % ≤ 4 % ≤ 6 % ≤ 8 %	≤ 1 %  ≤ 1 % ≤ 2 % ≤ 3 % ≤ 4 %	

(pokračování)



**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**  
**Fakulta pedagogická**  
Akademický rok: 2013/2014

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr SCHANDL**  
Osobní číslo: **P12912**  
Studijní program: **B7507 Specializace v pedagogice**  
Studijní obor: **Základy výrobní techniky se zaměřením na vzdělávání**  
Název tématu: **Metodika a techniky obloukového svařování hliníku a jeho slitin se zaměřením na WIG technologie užívané v EGE s.r.o. a nové související normy podle EN a ISO**  
Zadávací katedra: **Katedra aplikované fyziky a techniky**

## Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

V úvodu uveďte zdůvodnění zvoleného téma a cíle práce. Vyhledejte vhodné zdroje informací k danému tématu. V další části se zaměřte na souhrn základních teorií k uvedenému okruhu (teorie obloukového svařování hliníku a jeho slitin) ze všech aktuálních dostupných zdrojů v návaznosti na EN a ISO.

Zaměřte se zejména na tyto oblasti:

1. Seznamte se detailně s aktuální odbornou literaturou z oblasti teorie obloukového svařování hliníku a jeho slitin především metodou WIG. Sám vyhledejte vhodnou a aktuální literaturu k danému tématu v souladu s novými normami EN.
2. V literatuře se zaměřte především na základní pojmy teorie obloukového svařování hliníku a jeho slitin, nové názvosloví, svařovací metody a techniky se zaměřením na nové technologie (přídavné materiály podle ČSN, EN, případně ISO, přehled svařovacích zdrojů atp.)
3. V úvodu proveďte souhrn zásad svařování a přehledně utřídte obecné poznatky týkající se teorie obloukového svařování hliníku a jeho slitin z dostupné literatury a vysvětlíte základní pojmy v souladu s EN (techniky, značení poloh, druhy svarů a jejich značení na výkresu podle mezinárodních norem atp.).
4. Zaměřte se na problematiku vybraných technologií obloukového svařování hliníku a jeho slitin a nejvíce užívané techniky užívaných v regionu.
5. Soustředte se na technologie zaměřené na obloukové svařování hliníku a jeho slitin v podniku EGE s.r.o. se zaměřením na metodu WIG.
6. Danou problematiku konzultujte s odborníky z praxe zejména z provozu a svářečské školy v EGE s.r.o., ze kterých si můžete vybrat konzultanta práce, kterého pak uvedete ve své bakalářské práci.
7. Proveďte teoretický popis této vybrané technologie (WIG) a popis souvisejících norem EN a ISO.
8. Závěrem shrňte získané poznatky a pokuste se získat normy (kopie norem) pro svařování podle EN a ISO.
9. Pokuste se podle možností získat vzorky svarů, obrazově zdokumentovat svary a svářečské zařízení ve svařovacích provozech v regionu, zejména z EGE s.r.o.
10. Vypracujte přehlednou prezentaci obloukového svařování hliníku a jeho slitin, včetně názorných grafů, tabulek a obrázků z provozu, kterou pak užijete při obhajobě práce.

Rozsah grafických prací: **podle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **40 stran včetně příloh**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

- Leinveber, J., Vávra, P.: Strojnické tabulky. ALBRA, Praha, 2006. ISBN 80-7361-033-7
- Řasa, J., Švercl, J.: Strojnické tabulky. Scientia, Praha, 2004. ISBN 80-7183-312-6
- <http://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kaft/pro-studenty/bc-a-dp-prace/>
- [http://www.pf.jcu.cz/documents/r83\\_2007.pdf](http://www.pf.jcu.cz/documents/r83_2007.pdf)

Sám se pokuste vyhledat vhodnou aktuální literaturu k danému tématu.

Vedoucí bakalářské práce: **PaedDr. Bedřich Veselý, Ph.D.**  
Katedra aplikované fyziky a techniky

Datum zadání bakalářské práce: **12. února 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. dubna 2015**



Mgr. Michal Vančura, Ph.D.  
děkan



prof. RNDr. Petr Špatenka, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 12. února 2014