

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

**Pedagogická fakulta**

**Katedra fyziky**

Svařování kovů a zkoušení svárů podle nových norem ISO,  
EN a na ně navazujících ČSN.

Bakalářská práce

Vedoucí práce: PaedDr. Bedřich Veselý, Ph.D.

Autor: Tomáš Hajný

## **Anotace:**

Práce se zabývá způsoby spojování materiálů pomocí svařování. V úvodní části se bakalářská práce zabývá historií tohoto oboru. Dále následují normy a předpisy ISO, EN a ČSN pro svařování. Další část popisuje metody svařování a zkoušky svarů. V poslední části se bakalářská práce zaměří na všeobecnou technologii svařování.

Cílem bakalářské práce je vytvořit učební text a stručně přiblížit studentům, jaké jsou metody a způsoby svařování a zkoušky svarů a možnost těchto metod využít v praxi. Popsány jsou metody teoreticky a zároveň ukázky z praxe. Bakalářská práce může být užita na pedagogické fakultě k výuce daného tématu.

## **Abstrakt:**

Work considers kind of materials joining via welding. At the beginning the bachelor work considers history of this branch. Then there are norms and regulations ISO, EN and CSN for welding. Next part describes welding methods and weld tests. The last part is focused on common technology of welding. Ambition of this bachelor work is to create learning text and briefly show to the students, which are the methods and kinds of welding and welding tests and possibility how to use this methods in practice. Here are methods described theoretically and also examples from practice. This bachelor work can be used at pedagogical faculty for teaching this topic.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce a to v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

.....

## **Poděkování:**

Touto cestou děkuji vedoucímu bakalářské práce PaedDr. Bedřichu Veselému za odborné vedení, konzultace, připomínky a velice vstřícný přístup, který mi pomohl připsaní této bakalářské práce. Dále děkuji svému konzultantovi panu Mederovi ze svářečské školy za poučné konzultace.

## Obsah:

<b>1. Úvod</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Historie a počátky svařování</b> .....	<b>7</b>
<b>3. Normy a předpisy ISO, EN a ČSN pro svařování</b> .....	<b>8</b>
3.1 Evropská norma svařování EN 287.....	9
3.2 Značení svářečských kvalifikací podle ČSN 05 07 053.....	10
3.3 Druh kvalifikace.....	10
3.4 Druh metody svařování.....	10
3.5 Skupina základního materiálu.....	10
<b>4. Polohy svařování</b> .....	<b>11</b>
4.1 Základní polohy svařování.....	11
4.2 Praktické ukázky svařování.....	13
<b>5. Základní rozdělení metod svařování</b> .....	<b>16</b>
5.1 Metoda tavného svařování.....	18
5.2 Metoda tlakového svařování.....	34
<b>6. Zkoušení svarů a svarových spojů</b> .....	<b>37</b>
6.1 Destruktivní.....	38
6.2 Nedestruktivní (bez porušení).....	42
<b>7. Všeobecná nauka svařování</b> .....	<b>46</b>
7.1 Příprava materiálu pro svařování.....	46
7.2 Svařitelnost.....	47
7.3 Přídavné materiály.....	48
7.4 Elektrický svařovací oblouk.....	49
7.5 Rozdělení svařovacích zdrojů.....	52
<b>8. Závěr</b> .....	<b>57</b>
<b>9. Seznam použitých zdrojů</b> .....	<b>58</b>

## 1. Úvod

Svařování je podle statistických údajů jednou z nejrozšířenějších technologií ve strojírenské výrobě. Nahradilo nýtované spoje a svařování nevytlačily ani lepené spoje. Odhaduje se, že v současnosti je celkový podíl tohoto odvětví okolo 10 % celkového objemu prací, které jsou ve strojírenské výrobě. Používání svářecích zařízení ve strojírenství neustále narůstá. K tomu také nemalou mírou přispívá i to, že se svařovací automaty neustále zdokonalují. Jsou strojírenská odvětví, která si bez těchto svářecích automatů už v dnešní době nelze představit. Tyto svařovací automaty velice zvyšují produktivitu práce, ale také zároveň chrání zdraví pracujících. V menších provozech, jako jsou zámečnické dílny, údržby mají svařovací zařízení také své místo.

V obchodech, které se zabývají prodejem svařovací techniky, nakupují i lidé, kteří chtějí mít svářečku pro domácí využití. Cena těchto zařízení klesá a zároveň se zvyšuje počet modelů ze kterých můžeme vybírat.

Svařování je tedy jedna z nejdůležitějších výrobních technologií, která velice ovlivňuje průmysl, drobné živnostníky a také kutily, kteří se zabývají svařováním, jako svým koníčkem.

Proč jsem si vybral tavné svařování jako téma BP, mám k němu dlouhodobější vztah a zkušenosti atp.

## 2. Historie a počátky svařování

Dějiny svařování jsou z hlediska lidské činnosti poměrně krátké. Historicky není doloženo, kdy se člověk naučil spojovat železo, ale jisté je, že nestarším způsobem svařováním bylo, svařování kovářským způsobem. Tento způsob spojování kovů používaly různé kultury již ve starověku. Bylo používáno například již téměř před 5000 lety ve starém Řecku a v některých státech na území dnešního Iráku. Tato metoda kovářského svařování byla dále zdokonalována ve středověku a v období renesance po celé Evropě. V této podobě se používá až do dnešní dnů. Popsána byla například v práci PYROTECHNIA autora Vannoccio Benringucia, která byla vydána v Benátkách v roce 1540. Jednou z nejstarších technologií tavného svařování kovů bylo svařování plamenem. Pro tuto metodu se nejdříve používal vodíkovzduchuvý plamen. Tento se poté využíval pro svařování olova. Pro průmyslové využití této technologie byl rozhodující objev průmyslové výroby karbidu vápníku R. Hoissanem v roce 1892 a práce H. Le Chateliera z roku 1895, který provedl výzkum a popsal kyslíko-acetylenový plamen [3]. Následně se začala se masově uplatňovat v období první světové války a v období mezi dvěma světovými válkami patřila k nosným technologiím svařování, velice hojně používaným v průmyslové výrobě. Vývoj této technologie až do dnešní doby se zaměřoval na vývoj dokonalejších zařízení pro svařování, vývojem nových přídavných materiálů pro svařování a vývoj nových plynů pro hoření používaných na svařování jako např. MAPP, Apachi, Crylen a Tetren. Tato technologie se používá v některých odvětvích průmyslu i v současné době. V mnoha případech byly již nahrazeny novými, dokonalejšími metodami svařování.

Obloukové svařování vynalezli v Rusku. Inženýři Benardos – uhlíkovou elektrodou roku 1885 a Slavjanov – holou kovovou elektrodou roku 1890.

Odporové svařování objevil Joule roku 1850 a první bodovou svářečku postavil Benardos roku 1887.

Nejrozšířenější způsob svařování, svařování v ochranné atmosféře vzniklo ve Spojených státech před druhou světovou válkou.

V šedesátých letech minulého století se objevují zprávy ruském vynálezu elektrostruskového svařování a ve Francii o návrhu svařování paprskem elektronů.

[2]

### **3. Normy a předpisy ISO, EN a ČSN pro svařování**

Metody svařování jsou uvedeny v normě ČSN EN 34063. S ní souvisí i rozdělení dle normy ČSN ISO 857. Za metodou svařování je v závorce uvedeno i číselné označení metody svařování, jak je označení metody svařování uvedeno v následujících materiálech u svařování, např. u WPS – technologické postupy, označování zkoušek svářečů apod.





### **3.2 Značení svářečských kvalifikací podle ČSN 05 07 05**

ZK 111 W01

ZK	druh kvalifikace
111	druh metody svařování
W01	skupina základního materiálu

### **3.3 Druh kvalifikace**

ZK	základní kurzy
ZP	doplňkové (zaškolovací) kurzy
ČSN EN 287	úřední kurzy

### **3.4 Druh metody svařování**

311	plamen
111	elektrický oblouk – obalená elektroda
114	elektrický oblouk – plněná elektroda bez ochranného plynu
131	Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu (MIG)
135	Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu (MAG)
136	Obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu
137	Obloukové svařování plněnou elektrodou v inertním plynu
141	Obloukové svařování netavící se elektroda v inertním plynu (TIG, WIG)
12	pod tavidlem
15	plazmové svařování a dělení materiálu

### **3.5 Skupina základního materiálu**

W01	nelegované a nízkolegované oceli nevyžadující předehřev nad 00C
W02	CrMo oceli nebo CrMoV oceli

W11	korozivzdorné feriticko-austenitické nebo austenitické oceli
W21	hliník a jeho slitiny
W31	měď a její slitiny
W41	nikl
W51	titan

## 4. Polohy svařování

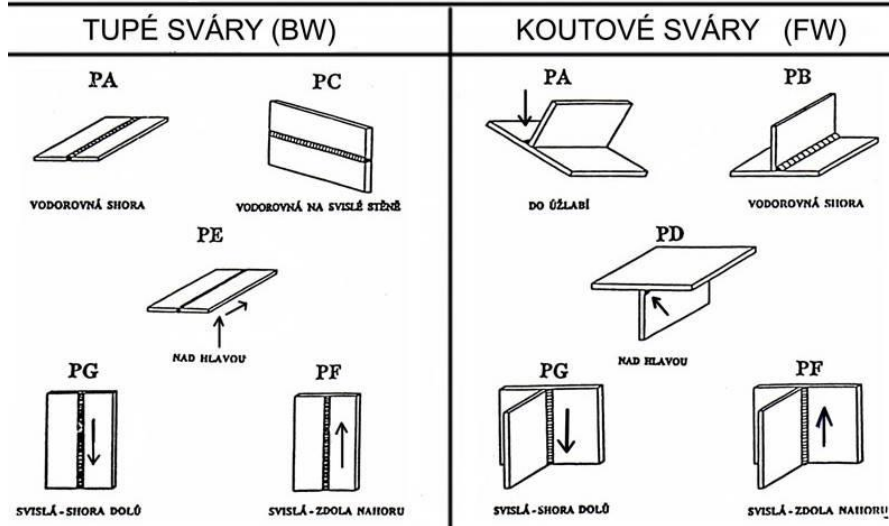
Při svařování používáme několik poloh svařování, ale nejlépe se svařuje v poloze vodorovné s hora (PB). Není-li možno v této poloze svařovat, je nutné svařovat v dalších polohách. Také si můžeme k poloze vodorovné shora pomoci různými polohovadli, ve kterých je svarek upnut.

### 4.1 Základní polohy svařování

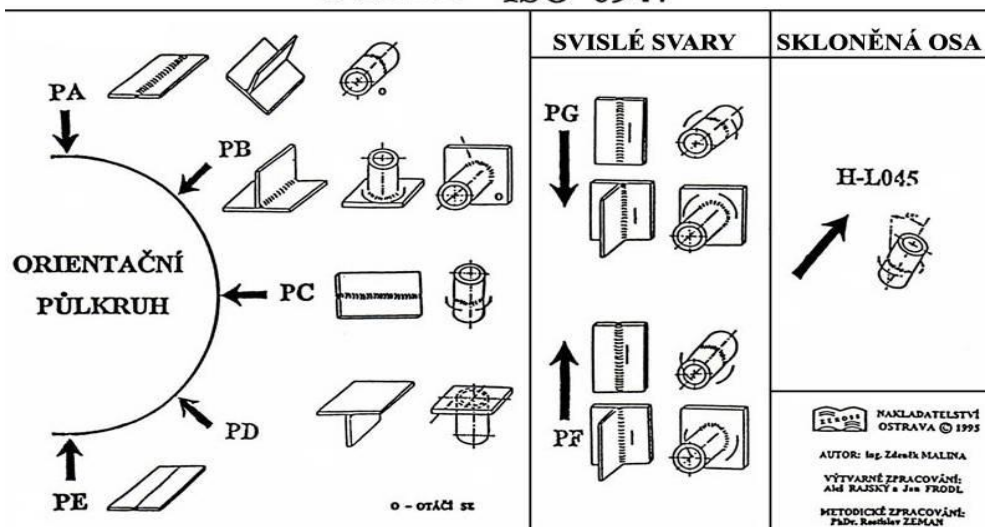
tupý svar v poloze v poloze vodorovné shora	ČSN	EN
tupý svar v poloze vodorovné shora	A1	PA
tupý svar v poloze vodorovné na svislé ploše	A2	PC
tupý svar v poloze v poloze nad hlavou	A3	PE
tupý svar v poloze v poloze svislé	A4	PF
koutový svar v poloze vodorovné shora	B1	PB
koutový svar v poloze do úžlabí	B2	PA
koutový svar v poloze v poloze nad hlavou	B3	PD
koutový svar v poloze v poloze svislé	B4	PF

[10]

# POLOHY SVAŘOVÁNÍ PLECHŮ PODLE ISO 6947



# POLOHY SVAŘOVÁNÍ PODLE ISO 6947



## 4.2 Praktické ukázky svařování

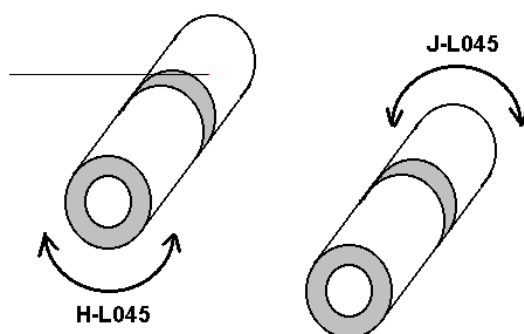
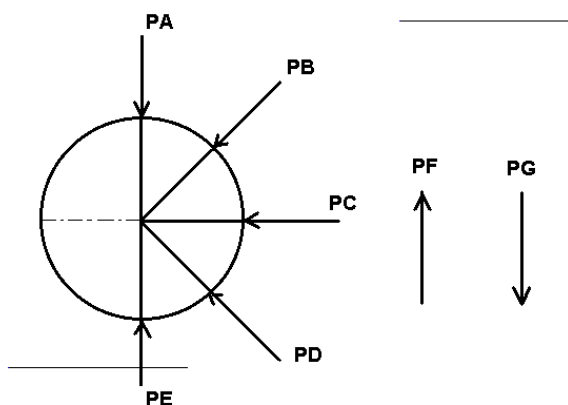
poloha PF ( tupý svar v poloze v poloze svislé )



poloha PA ( koutový svar v poloze do úžlabí )











## Značení poloh svařování podle ISO 6947



[10]

PROFIL SVAROVÝCH PLOCH	NÁZEV SVARU	ZNAČKA
	LEMOVÝ SVAR	⌋
	I SVAR	
	V SVAR	∇
	1/2 V SVAR	∇
	Y SVAR	Y
	1/2 Y SVAR	Y
	U SVAR	Y
	1/2 U SVAR	Y

PROFIL SVAROVÝCH PLOCH	NÁZEV SVARU	ZNAČKA
	LEMOVÝ SVAR	∩
	I SVAR	
	V SVAR	∨
	1/2 V SVAR	∨
	Y SVAR	Y
	1/2 Y SVAR	Y
	U SVAR	U
	1/2 U SVAR	U

### Doplňkové značky svarů

NÁZEV	ZNAČKA
PLOCHÝ SVAR	—
PŘEVÝŠENÝ SVAR	⌒
PROLÁKLÝ SVAR	⌒
OPRACOVANÉ PŘECHODY SVARU	∩
PŘIVAŘENÁ PODLOŽKA	□
VYDRÁŽKOVÁNÍ KOŘENE	∩
PODLOŽENÍ SVARU	∩

[10]

## 5. Základní rozdělení svařovacích metod

Všechny známé metody svařování můžeme rozdělit na dvě velké skupiny a to na metody tavného svařování a tlakového svařování. U tavného svařování dosáhneme vytvoření spoje přívodem tepelné energie do oblasti svaru a dendritickou krystalizací roztaveného svarového kovu. U tlakové metody svařování je princip svařování založen na působení mechanické energie, která formou makro nebo mikrodeformace přiblíží spojované povrchy na vzdálenost působení meziatomových sil, čímž nám vznikne vlastní spoj.

### Metody tavného svařování

#### 1. Svařování elektrickým obloukem

- a) Obloukové svařování tavící se elektrodou
- b) Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou
- c) Gravitační obloukové svařování obalenou elektrodou
- d) Obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu
- e) Vibrační svařování a navařování
- f) Pod tavidlem
- g) Obloukové svařování v ochranné atmosféře
- h) Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu-MIG
- i) Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu-MAG
- j) Obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu
- k) Obloukové svařování plněnou elektrodou v inertním plynu
- l) Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu-WIG

#### 2. Elektrostruskové svařování

#### 3. Svařování plazmové

#### 4. Svařování plazmové MIG svařování

#### 5. Svařování magneticky ovládaným obloukem

#### 6. Elektronové svařování

#### 7. Svařování plamenem

- a) kyslíko-acetylenové svařování
- b) kyslíko-vodíkové svařování



8. Svařování slévárenské
9. Svařování světelným zářením
10. Laserové svařování
11. Aluminotermické svařování
12. Elektroplynové svařování
13. Indukční svařování

[2,4 ]

## **Metody tlakového svařování**

1. Odporové svařování
  - a) stykové
    - odtavovací
    - stlačovací
  - b) přeplátováním
    - odporové bodové svařování
    - odporové švové svařování
    - výstupkové
3. indukční svařování
4. svařování v ohni
5. svařování výbuchem
6. třecí svařování
7. svařování ultrazvukem

[2,4]

## **5.1 Tavné svařování**

### **Svařování plamenem**

Tepelným zdrojem při svařování plamenem je chemická reakce, která vznikne hořením směsi okysličujícího (kyslík) a hořlavého plynu (acetylén, propan, zemní plyn....). Hodnoty zdroje tepla – plamene se řídí použitými plyny. Například u kyslíko-acetylenového plamene je nejvyšší teplota plamene 3150°C

### **Popis kyslíko – acetylenového plamene**

Pro využití tohoto zdroje tepla používáme podle poměru kyslíku a acetylenu tři druhy plamene.

- a) neutrální
- b) redukční(s přebytkem acetylenu)
- c) oxidační(s přebytkem kyslíku)

### **Neutrální plamen**

používá se pro svařování ocelí a dále pro nahřívací plamen, který potřebujeme při řezání kyslíkem.

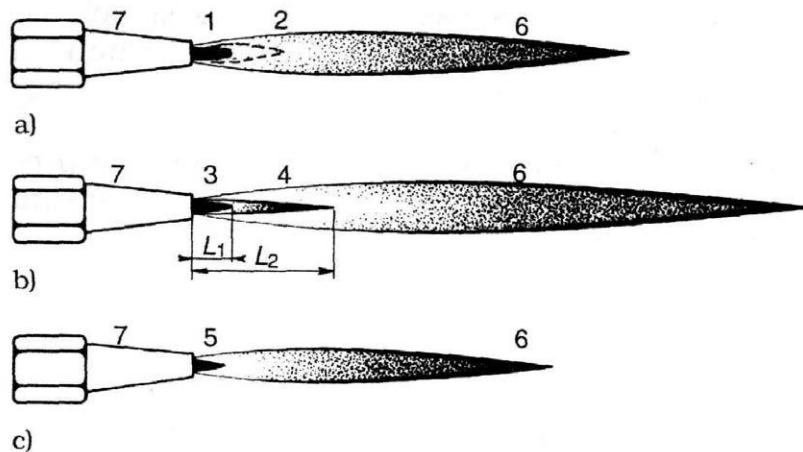
### **Plamen s přebytkem acetylenu**

(přebytek acetylenu 5 až 15%) se používá pro svařování hliníku , hořčíku a jejich slitin, k navařování tvrdokovů a k cementování plamenem. Přebytek acetylenu v plameni lze také určit podle délek svítících kuželů L1 a L2, viz obr.b.

**Plamen s přebytkem kyslíku** (přebytek kyslíku 5 až 20%) se používá pro svařování mosazi a bronzů.

[2]

## Rozdělení plamene kyslíko-acetylenového podle poměru kyslíku a acetylenu



1-svařovací kužel ostře ohraničený, oslnivě bílý, 2-redukční oblast plamene, 3-svařovací plamen oslnivě bílý, překrytý bělavým závojem, 4-bělavý závoj, 5-svařovací plamen krácený, modrofialový, 6-vnější oxidací plamen, 7-svařovací hubice

[3,7]

### Použití plamenového svařování.

Svařování plamenem patří mezi klasické metody svařování, které dříve patřily k nejpoužívanějším metodám svařování. I v dnešní době se některá odvětví nemůžou bez této metody svařování obejít. Také v řemeslech jako je například autoklempíř, topenář, nebo potrubář se tímto způsobem svařuje téměř denně. Velkou úlohu má také v opravárenství. Nahříváním plamenem se snadno a rychle odstraňuje vnitřní pnutí po svařování, rovnání zprohýbaných dílů atd.

Velké uplatnění je také v navařování tvrdých návarů na základní materiál. Při této metodě svařování hodně záleží na zručnosti svářeče. Metodu svařování plamenem používáme při svařování slabých plechů do tloušťky 4mm. Ale i v této oblasti je z důvodů vznikajících poměrně velkých deformací a vnitřního pnutí nahrazováno svařování metodou MAG, MIG nebo TIG.

## Hořlavé plyny

Hořlavých plynů používaných v technické praxi pro plamenové svařování je celá řada. Pro svařování má největší význam acetylen pro jeho velmi dobré vlastnosti.

**Hořlavé plyny a jejich vybrané vlastnosti**

vlastnosti plynu	acetylen	vodík	propan	metyl-acetylen-propadien	etylen (eten)	propylen	Zemní plyn
chem. vzorec	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	MAPP, TETREN, APACHI C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	CH <sub>4</sub>
způsob skladování	rozpuštěný v acetonu	Stlačený	kapalný	kapalný	stlačený (kapalný)	kondenzovaný	Stlačený
Výhřevnost (MJ/m <sup>3</sup> )	56,5	10,8	93,2	82,2	53,9	87,6	35,9
meze výbušnosti se vzduchem(%)	2,2-85,0	4,0-74,5	2,2-95,5	1,7-12,0	3,1-32,0	2,0-10,5	5,0-15,0

## Svařování elektrickým obloukem

Svařování el. obloukem obalenou elektrodou je jednoduchou metodou svařování jak na požadavky parametrů svařování, tak z pohledu svařovacích poloh.

Pro svařování obalenou elektrodou používáme:

- elektrody s bazickým obalem
- elektrody s kyselým a rutilovým obalem

Svářeč nastavuje svařovací proud podle průměru elektrod.

Napětí na el. oblouku se nenastavuje. Hodnota je dána statickou charakteristikou elektrického oblouku.

Při svařování dbáme na to, aby elektroda byla nakloněna proti svarové housence. Snažíme se, aby struska nepředbíhala housenku a nezpůsobovala tím nežádoucí struskové vměstky ve svarovém kovu (vada svaru

Svarovou housenku zakončujeme takovým způsobem, aby nedošlo vzniku staženiny v koncovém kráteru. Napojení svaru zakončujeme takzvaným zatočením el. oblouku. To znamená, že začátek svaru trochu přetáhneme svarem novým, čímž zabráníme vzniku staženiny.

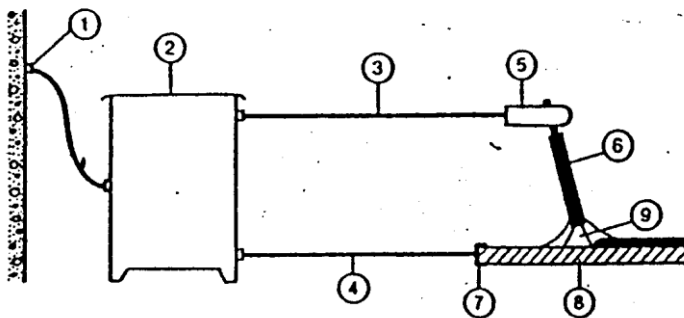
Při svařování vznikne vysokotlaký výboj, který hoří v prostředí ionizovaného plynu. Stabilně hoří za předpokladu napětí dostatečného pro ionizaci daného prostředí a proudu udržujícího plazma oblouku v ionizovaném stavu.

Pro ruční svařování elektrickým obloukem se jako přídavné materiály používají obalené elektrody. Tyto se skládají z jádra a z obalu elektrody. Jádro elektrody tvoří drát průměru 1,6 2,0 2,5 3,2 4,0 5,0 a 6,0 mm.

[2,5]

### Ruční svařování obalenou elektrodou

1. Připojení na síť
2. Zdroj svařovacího proudu
- 3., 4. Přívod svařov. proudu
5. Držák elektrody
6. Obalená elektroda
7. Svařovací svorka
8. Svarek
9. Elektrický oblouk



### Charakteristické znaky oblouku jsou:

- 1) malý anodový úbytek napětí
- 2) malý potenciální rozdíl na elektrodách
- 3) proud řádově ampéry až tisíce ampér
- 4) velká proudová hustota katodové skvrny
- 5) intenzivní vyzařování světelného záření z elektrod i sloupce oblouku.
- 6) intenzivní vyzařování UV záření.

### **Elektrický oblouk se skládá z částí:**

#### a) Katodová skvrna

je to ostře ohraničená oblast, která termickou emisí emituje prvotní elektrony důležité pro zapálení oblouku a ionizaci plynného prostředí. Elektrony získávají v oblasti katodového úbytku napětí tak velkou kinetickou energii, že jsou schopny při srážkách ionizovat neutrální atomy na kladné ionty a sekundární elektrony. Teplota skvrny je cca 2600 °C.

#### b) Anodová skvrna

Anodovou skvrnou jsou neutralizovány a odváděny dopadající záporné částice. Kinetická energie částic se mění na tepelnou a z části i na elektromagnetické záření. Teplota anodové skvrny je cca 3000 °C.

### **Podle složení obalu rozdělujeme elektrody na:**

stabilizační,

rutilové označení R,

rutil-celulózové označení RC,

rutil-kyselé označení RA,

rutil- bazické označení RB,

tlustostěnné rutilové označení RR,

kyselé označení A,

bazické označení B,

celulózové označení C

### **Funkce obalu elektrod:**

- funkce plynotvorná

při hoření oblouku vznikají z obalu kouře a plyny, které vytvářejí ochrannou atmosféru a brání tak přístupu vzdušného kyslíku a dusíku ke svarové lázni, např. celuloza , tepelný rozklad  $\text{CaCO}_3$  na  $\text{CO}_2$  a  $\text{CaO}$

- funkce ionizační

slouží v obalu pro usnadnění zapalování a hoření oblouku, např. soli alkalických kovů K a Na

- funkce metalurgická

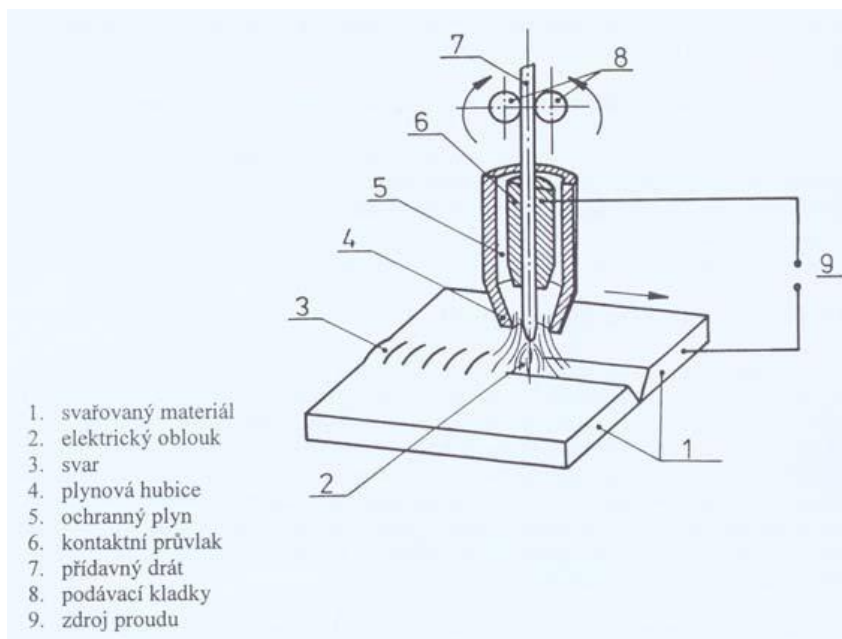
rafinace (snížení P a S), desoxidace ( snížení O<sub>2</sub> ) a legování ( především prvků náchylných k propalu – Cr,Mo,Ti

### **Svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu metodou MIG/MAG**

Svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu MAG patří vedle svařování obalenou elektrodou v celosvětovém měřítku k nejrozšířenějším metodám pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Svařování MIG v inertním plynu získává na důležitosti vlivem růstu objemu konstrukcí, staveb, lodí a dopravních prostředků vyráběných z hliníkových slitin. Hlavními důvody rozšíření metody MIG/MAG jsou: široký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů, snadná možnost mechanizace a robotizace, velký sortiment vyráběných svařovacích zařízení a především významné výhody a charakteristiky uvedené metody svařování. Svařování metodou MIG/MAG je založeno na hoření oblouku mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem v ochranné atmosféře inertního nebo aktivního plynu. Napájení drátu elektrickým proudem je zajištěno třecím kontaktem v ústí hořáku tak, aby elektricky zatížená délka drátu byla co nejkratší. Drát je podáván podávacími kladkami umístěnými v podavači, vlastním hořáku, nebo kombinací obou systémů z cívky o běžné hmotnosti 15 kg. Proudová hustota je u svařování MAG nejvyšší ze všech obloukových metod a dosahuje až 600 A.mm<sup>-2</sup> a svařovací proudy se pohybují od 30 A u svařování tenkých plechů drátem o průměru 0,6 – 0,8 mm, až do 800A u vysokovýkonných mechanizovaných metod. Charakter přenosu kovu obloukem závisí na parametrech svařování a ochranném plynu, přičemž běžný je zkratový pro tenké plechy a sprchový pro větší tloušťky plechů. U vysokých proudů se mění charakter přenosu kovu obloukem a vlivem elektromagnetických sil se dosahuje rotujícího oblouku. Teplota kapek se při MAG svařování pohybuje v rozmezí 1700 až 2500 °C a teplota tavné lázně se v závislosti na technologii, parametrech svařování, chemickém složení a vlastnostech materiálu pohybuje mezi 1600 až 2100 °C.

[5,8]

## Princip svařování metodou MIG/MAG



[11]

### Ochranné plyny pro svařování metodou MIG a MAG.

Nejdůležitější a prvořadou úlohou ochranných plynů je vyloučit přístup vzduchu do oblasti svařování. Chránit elektrodu, tavnou lázeň, oblouk, housenku a kořen svaru před působením

vzdušného kyslíku, který způsobuje oxidaci, pórovitost a výpaly v základním materiálu

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.

Jako ochranné plyny pro metodu MAG se používá čistý plyn oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ , nebo v současnosti častěji používané vícesložkové směsné plyny se základem argonu –  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{O}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$  a  $\text{Ar} + \text{He} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ . Ochranné plyny se skladují v tlakových lahvích, na kterých se musí provádět revize.

Při svařování metodou MIG se používá většinou čistý plyn argon a helium nebo jejich dvousložková směs  $\text{Ar} + \text{He}$ . Čistota plynů a přesnost míchání směsí jsou stanovené normou ČSN EN 439.



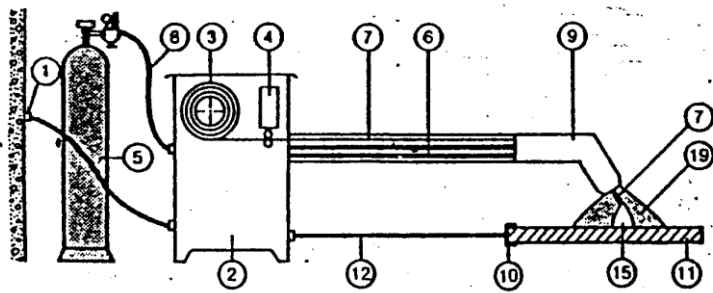
**Ochranný plyn svým složením a množstvím ovlivňuje tyto charakteristiky svařování:**

- vytvoření ionizovaného prostředí pro dobrý start a hoření oblouku,
- metalurgické děje v době tvoření kapky, při přenosu kapky obloukem a ve svarové lázni,
- síly působící v oblouku,
- tvar a rozměry oblouku,
- charakter přenosu kovu v oblouku, tvar a rozměry kapek a rychlost jejich přenášení obloukem,
- tvar a rozměry průřezu svaru,
- hladkost povrchu svaru a jeho přechod na základní materiál,
- kvalitu, celistvost a mechanické vlastnosti svarového spoje.

**Porovnání vlastností ochranných plynů**

Vlastnosti	Ar + CO <sub>2</sub>	Ar + O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Závar <ul style="list-style-type: none"> <li>• normální poloha</li> <li>• nucená poloha</li> </ul>	dobrý spolehlivější s rostoucím % CO <sub>2</sub>	dobrý může být kritický z důvodu předbíhání svarové lázně	dobrý spolehlivý
Tepelné zatížení hořáků	vysoké, snižuje se s rostoucím % CO <sub>2</sub>	vysoké, výkon může být omezen, jestliže je hořák příliš horký	nízké díky dobré tepelné vodivosti
Stupeň oxidace	nízký, stoupá s rostoucím % CO <sub>2</sub>	výrazně závisí na obsahu O <sub>2</sub> (1 – 8%)	vysoký
Porozita	snižuje se s rostoucím obsahem CO <sub>2</sub>	vysoká citlivost	spolehlivá
Přemostitelnost mezery	zlepšuje se s poklesem % CO <sub>2</sub>	dobrá	horší než u směsných plynů
Tvorba rozstříku	stoupá s rostoucím % CO <sub>2</sub>	téměř bez rozstříku	vysoká, stoupá s rostoucím výkonem
Vnášení tepla do svaru	stoupá s rostoucím % CO <sub>2</sub> nižší rychlost ochlazování menší nebezpečí vzniku trhlin	nejnižší vysoká rychlost ochlazování, nebezpečí vzniku trhlin větší	vysoké malá rychlost ochlazování, nebezpečí vzniku trhlin malé
Typ přenosu kovu obloukem	všechny typy	všechny typy	zkratový, kapkový

## Schéma svařování v ochranném plynu



1. Připojení na zdroj napětí
2. Zdroj svařovacího proudu
- 3., 7. Cívka s drátovou elektrodou
4. Podávací zařízení
5. Láhev s ochranným plynem
6. Vedení svařovacího proudu
9. Svařovací hořák
11. Svarek
15. Elektrický oblouk

### **Metalurgické reakce při svařování MAG.**

Nejdůležitějšími metalurgickými reakcemi jsou oxidační a desoxidační pochody probíhající v kapkách tavicí se elektrody a v roztaveném svarovém kovu. Tyto reakce zásadně ovlivňují tvar oblouku i povrch svarové housenky, přechod svarové housenky do základního materiálu a vnitřní čistotu svaru. Na rozsah reakcí má vliv především množství disociovaného kyslíku schopného slučování s prvky v tavenině.

[2]

### **Svařování netavící se wolframovou elektrodou v atmosféře inertního plynu – WIG a TIG**

V dnešní době se této metody začíná hojně využívat, protože cena svařovacích agregátů výrazně klesla. Při svařování metodou WIG hoří oblouk mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. Ochranu elektrody i tavné lázně před okolní atmosférou zajišťuje

netečný plyn o vysoké čistotě minimálně 99.995%. Používá se argon, helia nebo jejich směsí. Svařování lze realizovat s přídavným materiálem ve formě drátu ručním způsobem, nebo automatické svařování s regulací výkonu a podavačem drátu s proměnnou rychlostí.

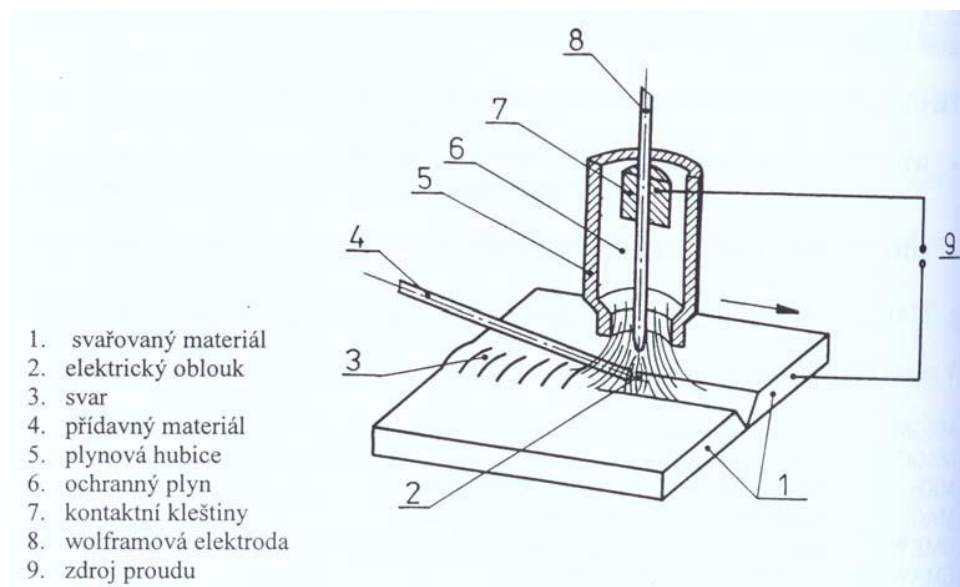
Svařování můžeme rozdělit dle druhu proudu na svařování střídavým proudem pro hliník, hořčík a jejich slitiny a svařování stejnosměrným proudem pro středně a vysokolegovanou ocel, měď, nikl, titan, zirkon, molybden a další. Pro svařování uhlíkové oceli se metoda WIG také používá ( potrubáři, topenáři atd. ) Svařování wolframovou elektrodou se používá i pro 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 a návary v oblasti renovací např. nástrojové oceli, niklové a kobaltové tvrdonávary.

Svařování WIG má výrazný růst objemu svářečských aplikací což se připisuje vysoké kvalitě spojů, operativností řízení procesu svařování a vysokému stupni automatizace a robotizace.

[5]

### Princip svařování metodou WIG



[11]

### **Svařování stejnosměrným proudem.**

Je to základní způsob zapojení při svařování metodou WIG. Při tomto zapojení je elektroda připojená k zápornému pólu zdroje a svařovaný materiál na kladný ( přímé zapojení ). Nepřímého zapojení se využívá velmi zřídka. Rozdělení tepla oblouku je nerovnoměrné a přibližně 1/3 tepla připadá na elektrodu a 2/3 celkového tepla se přenáší do základního materiálu. Díky tomu není elektroda tepelně přetěžovaná a naopak svarová lázeň má velkou hloubku závaru. Na velkou hloubku závaru má vliv i dopad elektronů, které svoji kinetickou energii přeměňují na tepelnou. . Při svařování hliníku se díky vysoké vodivosti helia předává do svarové lázně velké množství tepla, které umožňuje roztavení i povrchových oxidů. Oxidy se stahují na okraj taveniny a střed tavné lázně je čistý. Tento způsob svařování se používá Tento způsob svařování se používá především pro opravy hliníkových odlitků nebo nových svařenců. Pro svařování hliníku v ochranné atmosféře používáme směs argonu a nejméně 75% helia.

[3]

### **Svařování střídavým proudem**

Svařování střídavým proudem se používá z důvodu čistícího účinku, při kladné polaritě elektrody na svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin. Výrazným problémem při svařování hliníku je vrstva oxidu hlinitého, která chrání za běžných podmínek hliník proti další oxidaci. Vrstvička  $Al_2O_3$  má však vysokou teplotu tavení  $2050\text{ }^{\circ}C$  a při použití stejnosměrného proudu v argonu brání metalurgickému spojení, protože pokrývá povrch roztaveného hliníku jehož teplota tavení je  $660\text{ }^{\circ}C$ . Na základním materiálu se vytvoří katodová skvrna, která není stabilní a pohybuje se na místa pokrytá oxidy, které se zde odpařují. Druhá forma čistícího účinku se projeví při rozložení argonu na kladné ionty a elektrony. Argonové ionty o relativně vysoké hmotnosti, působí na oxidy mechanickým účinkem.

Při kladném zapojení elektrody vzniká pouze malý závar. Vysoká hloubka závaru se dosahuje při zapojení elektrody na záporném pólu zdroje, kdy a do tavné lázně dopadají urychlené elektrony.

### Svařování impulsním proudem

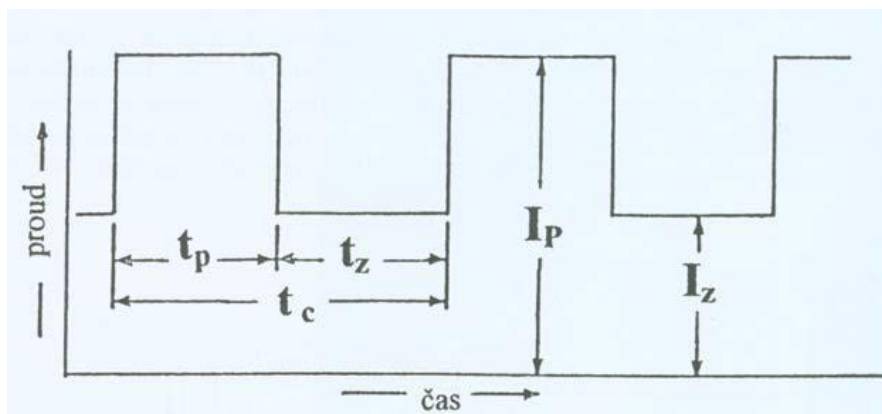
Impulsní svařování je nejnovější metodou WIG svařování, při kterém se využívá intenzita proudu mění pravidelně s časem mezi dvěma proudovými hodnotami a to základním proudem  $I_z$  a impulsním proudem  $I_p$ . Podle charakteru zdroje může být tvar průběhu impulsů proudu pravoúhlý, sinusový, lichoběžníkový nebo jiný.

Základní proud  $I_z$  jehož hodnota je všeobecně nízká (cca 10 – 15 A) zajišťuje pouze ionizaci oblasti oblouku v čase  $t_z$ . Pokud je doba základního proudu delší než dvojnásobek doby pulsu dochází k úplnému ztuhnutí svarové lázně, což je výhodné pro svařování vysokolegovaných ocelí. Naopak v průběhu kratší doby lázeň nezuhne, ale zmenší svůj rozměr. Toho se v praxi používá při požadavku zvláště hladkého svaru s plynulým přechodem do základního materiálu.

Impulsním proudem  $I_p$  v čase  $t_p$  dochází k natavení svarové lázně a tím i přídavného materiálu. Rozměry svarové lázně definuje především hodnota amplitudy impulsního proudu a doba trvání pulsu. Tímto je dosažena velice přesná regulace svářecího režimu, dávkování hodnoty dodaného tepla do svaru a tvarování svarové lázně. Průměrná hodnota svařovacího proudu je při impulsním svařování nižší než při klasickém způsobu svařování s konstantním proudem a proto vykazují svary výborné mechanické vlastnosti a menší deformace.

[5]

### Průběh impulsního proudu



[11]

## Přehled druhů vyráběných wolframových elektrod.( ČSN EN 26 848 )

Přehled druhů vyráběných wolframových elektrod.( ČSN EN 26 848 )

Označení	Hmotnostní procento oxidů	Barevné označení
WP		Zelená
WT 10	ThO <sub>2</sub> 0,9 - 1,2	Žlutá
WT 20	ThO <sub>2</sub> 1,8 - 2,2	Červená
WT 30	ThO <sub>2</sub> 2,8 - 3,2	Fialová
WT 40	ThO <sub>2</sub> 3,8 - 4,2	Oranžová
WZ 8	ZrO <sub>2</sub> 0,7 - 0,9	Bílá
WL 10	LaO <sub>2</sub> 0,9 - 1,2	Červená
WC 20	CeO <sub>2</sub> 1,8 - 2,2	Šedá
WL 20	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1,8 - 2,2	Modrá
WS 2	Vzácné zeminy	Tyrkysová
WLYC 10	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + CeO <sub>2</sub> 0,8 - 1,2	Zlatá

### Poznámka k této tabulce:

V současné době je zakázáno používat wolframové elektrody s označením WT 10, WT 20, WT 30 a WT 40. Zjistilo se totiž, že mají karcinogenní účinky.

Vyráběné průměry v mm: 0,5 1,0 1,6 2,0 2,4 3,0 3,2 4,0 4,8 5,0 6,0 6,4 8,0 10

Vyráběné délky v mm: 50 75 150 175

[2, 3]

### Ochranné plyny pro svařování metodou WIG a TIG

Nejdůležitější úlohou ochranných plynů je vyloučit přístup vzduchu do oblasti svařování. Chránit elektrodu, tavnou lázeň, oblouk, housenku a kořen svaru před působením vzdušného kyslíku, který způsobuje oxidaci, pórovitost a výpaly v základním materiálu. Pro metody svařování WIG a TIG používáme netečných plynů argonu, helia nebo jejich směsí o vysoké čistotě minimálně 99.995%.

## **Speciální metody tavného svařování**

U těchto metod svařování se dosahuje protavení celé tloušťky materiálu pomocí vysoké hustoty energie. Teplota v tavné lázni u těchto metod dosahuje velmi rychle bodu varu kovu a tvoří se kapilára vyplněná parami kovů. Svar se vytváří působením zdroje tepla. Zařazujeme sem metody svařování plazmou, svazkem elektronů a laserem.

### **Svařování plazmou.**

Princip svařování plazmou je založen na ionizaci plynu při průchodu elektrickým obloukem.

U dvouatomových plynů ( dusík, vodík a kyslík ) musí nejprve proběhnout disociace plynu, při které dochází k rozložení molekul plynu na atomy. Stupeň následné ionizace je závislý na teplotě a ta dosahuje u svařování plazmou až 16 000 °C.

### **Svařování svazkem elektronů**

Svařovaná součást je uložena v komoře, kde je vysoké vakuum 5.10<sup>-5</sup> Pa. Vakuum je nezbytné z důvodu zajištění termoemise elektronů, tepelné a chemické izolace katody, zamezení vzniku oblouku mezi elektrodami a zamezení srážkám elektronů s molekulami vzduchu, které způsobují zbrzdění elektronů a jejich vychýlení z přímého směru. V této komoře je ještě elektronová tryska, kde katoda je zdroj elektronů. Emitované elektrony přímočaře odletují k anodě s otvorem a jsou urychlovány vysokým napětím (150 kV ).Zdroj elektronů ( elektronové dělo ) je válcová vakuovaná nádoba na jednom konci opatřená přímo nebo nepřímo žhavenou emisní elektrodou a na druhém konci vybavená oddělovacím uzávěrem, který je kombinovaný s hranolem pozorovací optiky.

Elektrony dopadají na povrch materiálu a jejich kinetická energie se mění na tepelnou. Během několika μs dosáhne materiál teploty tavení, posléze teploty varu kovu a vytvoří se úzká kapilára vyplněná parami kovů o nízkém tlaku. Tento tlak je však dostatečně vysoký, aby spolu s reakční silou udržel taveninu na stěně kapiláry.

Energie uvolněná při svařování svazkem elektronů

$$W_k = 1/2 m_e \cdot v^2 = e \cdot U$$

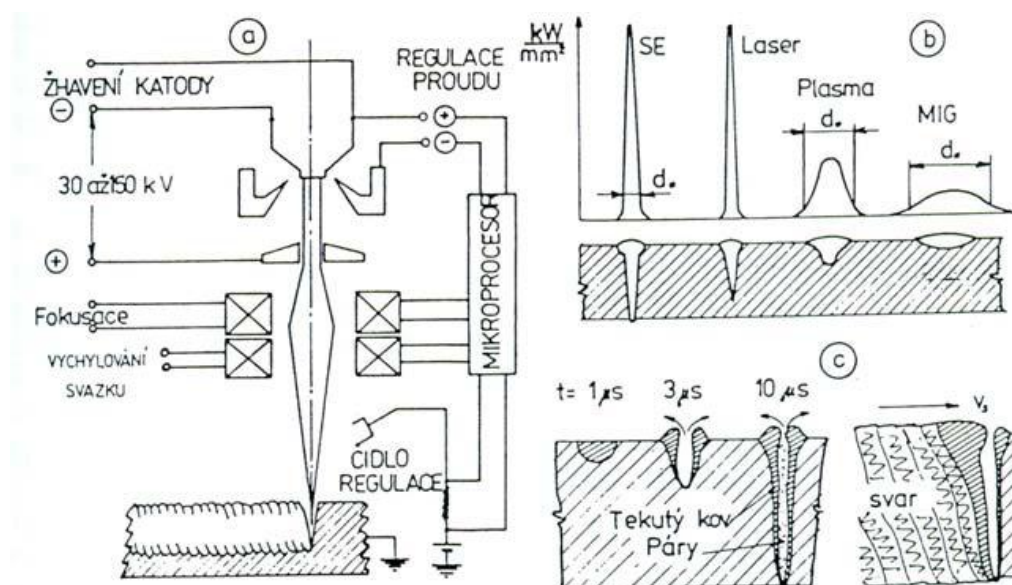
[7]

### Druhy pevnolátkových laserů používaných ve svařování

název	aktivní prostředí		vlnová délka $\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )
	iont	materiál	
rubín	$\text{Cr}^{3+}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,694
neodýmové sklo	$\text{Nd}^{3+}$	sklo	1,060
Nd:YAG	$\text{Nd}^{3+}$	$\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$	1,065

[10]

### Princip svařování svazkem elektronů



### Laserové svařování.

Název LASER vznikl ze začátečních písmen anglického popisu principu činnosti Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – zesílení světla stimulovanou emisí záření.

Při svařování laserem se využívá soustředěné světelné monochromatické záření, které je zdrojem obrovské energie, která je směřována do jediného bodu. Při tomto výkonu se odpařují, jak kovové tak i nekovové materiály. Laser má průměr paprsku 0,02 až 0,1 mm



a přenáší výkon  $10^{12} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Proces zesílení má charakter řetězové reakce a je dále zvyšován průchody rezonátorem – aktivním prostředím laseru, které je uzavřeno dvěma zrcadly se vzdáleností rovnající se násobku vlnové délky emitovaného záření. Zrcadlo se 100% odrazivostí vrací všechny fotony do aktivního prostředí, ale polopropustné zrcadlo s 80% až 90% odrazivostí propustí po dosažení kritického množství fotonů část záření ve formě krátkého vysokoenergetického pulsu. Opakovací frekvence současných pevnolátkových laserů se pohybuje mezi 1 až 500 Hz. Výhodou je, že svařujeme bez vakua. Velmi výhodné je použití laseru při dělení kovů a nekovových látek. Laserové technologie jdou velice rychle kupředu a na větší využití mají teprve před sebou.

[5]

**Druhy pevnolátkových laserů používaných ve svařování**

název	aktivní prostředí		vlnová délka $\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )
	iont	materiál	
rubín	$\text{Cr}^{3+}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,694
neodýmové sklo	$\text{Nd}^{3+}$	sklo	1,060
Nd:YAG	$\text{Nd}^{3+}$	$\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$	1,065

### Řezání laserem

Řezání laserem je v současnosti velice rozšířená metoda ve strojírenství. Vysoká koncentrace energie umožňuje dělit všechny technické materiály. Fokuseovaný laserový svazek fotonů při dopadu na materiál ohřeje místo kontaktu na teplotu varu, přičemž okolní materiál je v úzké zóně nataven. Řezání materiálů je umožněno odstraněním par kovů a taveniny z místa řezu pomocí pracovního plynu. Plyn proudí pod vysokým tlakem výstupní řezací tryskou kolem svazku fotonů. Vzdálenost řezací trysky od povrchu materiálu je velmi malá - do 1mm a je sledována kapacitním nebo dotykovým čidlem. Podle pracovního plynu se řezání rozděluje na tyto metody.

### Tavné řezání

Používá jako pracovní plyn dusík o tlaku v rozmezí 10 až 15 barů a používá se pro vysokolegované oceli, měď, hliník, nikl a jejich slitiny i pro nekovové materiály jako je keramika, plexisklo, dřevo, atd.

### **Oxidační řezání.**

Oxidační řezání se od tavného liší použitím kyslíku jako pracovního plynu a jeho nižším tlakem cca 3 až 5 barů. Základem řezání je exotermická reakce kyslíku s materiálem, která probíhá při příslušné zápalné teplotě kovu. Oxidační řezání se využívá pro nelegovanou až středně legovanou ocel.

### **Výhody řezání laserem**

- lze řezat téměř všechny technické materiály,
- řezné rychlosti jsou vysoké – v metrech až desítkách metrů za minutu,
- tloušťka řezu u oceli dosahuje až 25 mm,
- přesnost řezání je vysoká cca 0,05 až 0,1 mm na jeden metr délky řezu,
- velmi dobrá kvalita řezných ploch s drsností cca Ra 1,6
- lze provádět rovinné i prostorové řezy, - vlivem snadné regulace výkonu je kvalita řezu rovnoměrná na celé řezné ploše včetně, rohů, kde je výkon laseru redukován v závislosti na rychlosti pohybu řezné hlavy,
- úzká řezná spára – fokusace laserového svazku na průměr cca 0,05 mm.

[2]

## **5.2 Metoda tlakového svařování**

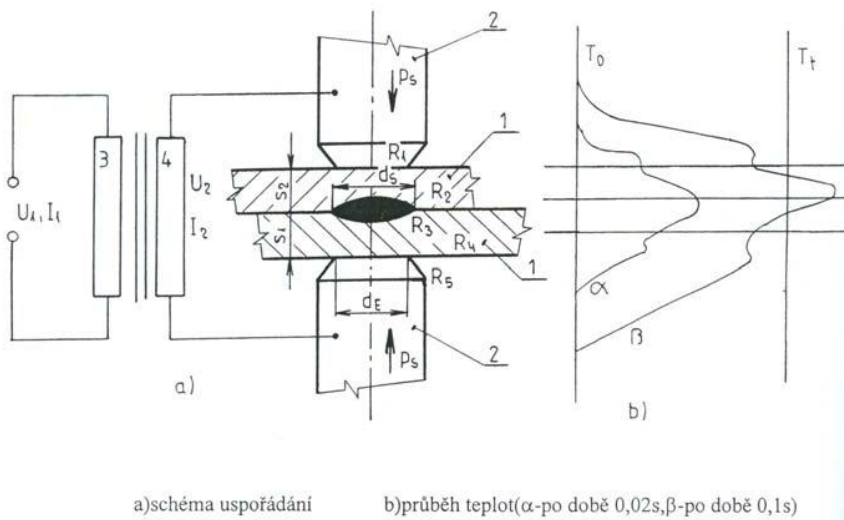
Mezi metody tlakového svařování patří . Svařování elektrickým odporem, třením, difúzí, ultrazvukem, výbuchem, tlakem za studena a indukční. U všech způsobů vzniká spoj v důsledku silového působení při přiblížení kontaktních ploch na vzdálenost působení meziatomových sil tzn. téměř na parametr atomové mřížky. Ke spojení dochází v tuhém nebo plastickém stavu bez vnějšího přívodu tepelné energie (kromě difúzního a indukčního svařování ). Teplo se na svarových plochách vyvíjí v důsledků elektrického přechodového odporu, třecích pochodů. Ve svaru nevzniká licí struktura jako u tavného svařování.

[8]

## Svařování elektrickým odporem

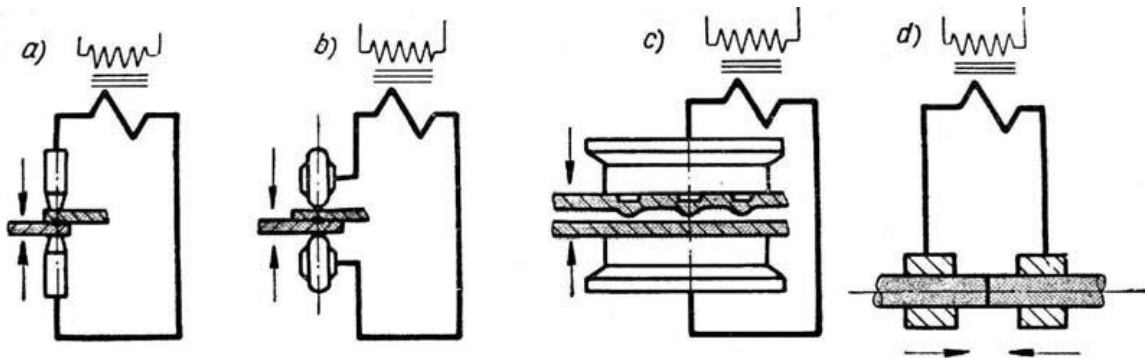
Průtok elektrického proudu svařovaným místem způsobí, že se materiál svařovaných součástí ohřeje odporovým teplem, stane tvárným, nebo se roztaví, načež se materiály dostatečně velkou silou stlačí a tím se materiály spojí. Zdrojem tepla je elektrický odpor v místě styku svařovaných materiálů, (přechodový odpor).

### Princip svařování el. odporem



### Odporové svařování dělíme na čtyři hlavní druhy:

- a) bodové odporové svařování
- b) švové odporové svařování
- c) výstupkové odporové svařování
- d) stykové odporové svařování



[8]

### Parametry svařování

Jsou to zejména tyto parametry svařování.

- svařovací proud            103 až 105 A
- přítlačná síla                500 až 10 000 N
- svařovací čas                0,04 až 2s

### Svařování třením.

Princip svařování třením je založen na vzájemném pohybu dvou součástí při působení přítlačné síly. Nejčastěji se svařují rotační součásti. Jedna svařovaná součást se otáčí, druhá je přítlačována a třením svařovaných ploch vzniká teplo. Po dosažení potřebné teploty se obě části stlačí pýchovacím tlakem. Poté se rotující část rychle zastaví. Pro kvalitní spoj je třeba určit tyto parametry. Otáčky pro dostatečné tření, přítlačný tlak, pýchovací tlak a dobu pýchování.

Tímto způsobem se svařují ventily z vysokolegovaných ocelí, kardanové hřídele a také plasty.

### Difúzní svařování

Vlastní spojení kovů při tomto způsobu svařování vzniká za působení teploty a odpovídajícího měrného tlaku na kontaktních plochách. Spoj je tvořen přiblížením

kontaktních ploch v důsledku lokální plastické deformace, která zaručuje vzájemnou difúzi v povrchových vrstvách spojovaných materiálů.

Hlavní parametry difúzního svařování jsou teplota, tlak a čas.

### **Svařování tlakem za studena.**

Svařování tlakem za studena patří mezi nejstarší technologie spojování kovů. Principem svařování je přiblížení povrchů svařovaných materiálů na vzdálenost řádově parametrů mřížky, kdy dochází k interakci mezi jednotlivými atomy kovu za vzniku pevné vazby. K dosažení požadovaného přiblížení je nutná výrazná plastická deformace, která musí být minimálně 60%

### **Svařování ultrazvukem.**

Tento způsob svařování je založen na principu mechanického kmitání o vysoké frekvenci – ultrazvuku, pro vytvoření svarového spoje. Zdroj kmitání se skládá z ultrazvukového měniče, jehož vinutí je napájeno vysokofrekvenčním generátorem proudu o frekvenci 4 – 100 kHz.

Svařitelnost kovů ultrazvukem je podobná svařitelnosti tlakem za studena.

[2,4,8]

## **6. Zkoušení svarů a svarových spojů**

### **Zkoušení svarů**

- zabýváme se pouze svarem (svar. kovem)

### **Zkoušení svar. spojů**

- zabývá se svarem jako spojem tj. včetně okolí svaru, deformací, pnutí atp

## **Základní rozdělení**

1. destruktivní zkoušky (s porušením)
  2. nedestruktivní zkoušky (bez porušení)
  3. chemické zkoušky
  4. metalografické zkoušky
- (uvádí ČSN 05 07 10)

ad 1) tah, ohyb, rozlomení atp.

ad 2) prozáření, ultrazvuk metody - prášková, magnetická, polévací, kapilární a další způsoby.

ad 3) měření tep. roztažnosti, el. vodivosti (Energovod), magnet. vlastností atp.

ad 4) chem. rozbor prvků a plynů ve svarovém i základním materiálu, zkoušky odolnosti svarů proti korozi atp.

ad 5) posuzuje se na výbrusech a lomových plochách vzhled lomových ploch, hloubka závaru, chyby ve svar. kovu a další pozorování.

### **6.1. Destruktivní zkoušky ( s porušením )**

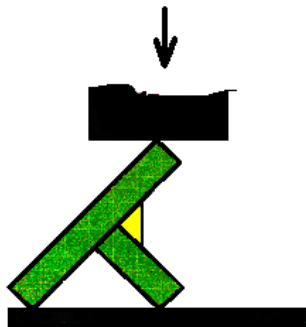
1. rozlomením
2. tahem
3. ohybem

Pro lepší pochopení nejužívanějších zkoušek užívaných při úředních (státních) zkouškách nám poslouží uvedení několika konkrétních příkladů z praxe:

#### **Zkouška rozlomením**

Svarový spoj se rozlomí a potom se zkoumá jeho lomová plocha. Tupé svary v pravém slova smyslu nelámeme, ale vyřízneme ze svařence tyč (mimo stehované místo), a přetrhneme ve sváru (svar. kov). Přetržení ve svaru nám zaručí vrub. Při přetržení neměříme napětí ani sílu - jde pouze o získání lomové plochy.

### Zkouška rozlomením



### Zkouška rozlomením



**vzorek po zkoušce rozlomením** – vrub byl proveden ze všech stran. Jde o polohu PA( do úžlabí) Při zkoumání tohoto vzorku zjistíme, že v lomu nejsou žádné vady.

[5,10]

### **Zkouška tahem**

Smyslem tahové zkoušky je namáhat materiál až do jeho porušení, čili překonat jeho pevnost v tahu. Ze svaru se vyhotoví zkušební tyčinka o předepsaném rozměru, u které se obrobí převýšení apod., tyčinku vložíme do trhacího stroje, kde se zkušební vzorek přetrhne. Na odečítacím zařízení zjistíme pevnost svarového spoje.

Zkoušku provádíme běžným způsobem, ovšem s tím, že vzorek má přesný rozměr. Proto se vzorek před zkouškou obrábí na příslušný rozměr. (důležité pro výpočet pevnosti při přetržení)



**vzorek po zkoušce tahem** - Při zkoumání tohoto vzorku zjistíme, že v místě, kde se vzorek přetrhnul nejsou žádné vady.

[5,10]

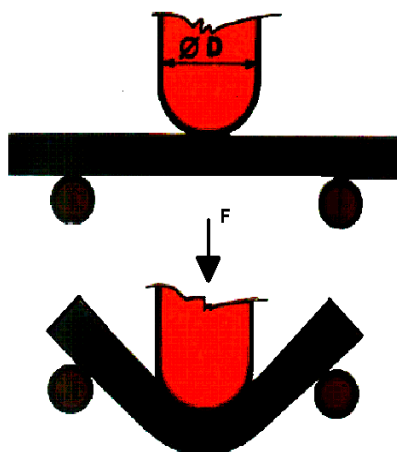
### **Zkouška ohybem**

Zkouška lámavosti (ohybová zkouška) – svařenec ohneme o 150° a kontrolujeme hloubku a délku trhlin.



Postupujeme tak, že svařenec ohýbáme do té doby, než se v deformovaném spoji objeví trhliny o velikosti 5 mm nebo dosáhneme předepsaného úhlu ohybu. Převýšení svaru a zápaly se opět odstraňují mechanickým opracováním. Ohýbání se provádí na válcových podpěrách rovnoměrnou rychlostí působením tlačného trnu s válcovou tlačnou plochou. Zkušební tyče se zatěžují ze strany kořene, aby strana horních vrstev svaru byla vystavena tahu.

### Zkouška ohybem



**vzorek po zkoušce ohybové (lámavosti) - jde o tupý V svár provedený metodou E (oblouk)** na konstrukční oceli se zaručeno svařitelností. Na vnější straně nejsou viditelné žádné trhliny. Tento vzorek je dobře svařen - došlo k dokonalému slití svar. kovu se základním materiálem.

[5,10]

## **6.2 Nedestruktivní zkoušky (bez porušení)**

1. Povrchová vizuální
2. Prozáření
3. Ultrazvukem
4. Elektromagnetická
5. Elektromagnetická
6. Prášková metoda
7. Polévací metoda
8. Kapilární
9. Petrolejem
10. Vodním tlakem
11. Vakuová

### **Povrchová vizuální**

Je jednou z velmi důležitých a jednoduchých zkoušek, která bývá často mezi zkouškami opomíjena. Je to zkouška, která velmi často zařadí svár mezi nevyhovující, aniž se musí pokračovat v dalších zkouškách. Především u zkoušek svářeče s nižším stupněm hodnocení, kde je vizuální zkouška rozhodující. ČSN uvádí kontrolovat především tyto chyby:

vruby (zvláště po okrajích svaru, tzv. zápaly či závary do stran).

převýšení kořene (musí být vždy převýšený 1 až 3 mm – nesmí být propadlý). Převýšení vyhází z průměru drátu či elektrody.

neprovaření kořene – materiál není provařen v celém průřezu – zvláště v kořenových partiích.

napojení – při přerušení (např. výměna elektrod, odvaření elektrody (póry atp.) nebo u průběžných svarů (trubek) napojení začátku a konce atp.)

Provádí se měření převýšení svaru, hodnotí se kvalita povrchu svarů a přechod do základního materiálu, provaření kořene a výskyt okrajových vrubů. Jako pomůcky pro měření slouží měřky. Zjišťují se jen vady povrchu a kořene. Přípustnost vad je stanovena normami.

### **Prozáření**

Je jednou ze zkoušek bez porušení (nedestruktivních), patřících do zkoušek prozáření. Je to jedna ze základních zkoušek, která se provádí u svarů při úředních (státních) zkouškách. Jsou to: vizuální zkouška, mechanická zkouška a zkouška prozáření. U rentgenových snímků si musíme uvědomit, že jde o negativ tj. světlejší místa jsou silnější vrstvy materiálu, tmavší místa jsou slabší vrstvy materiálu (neprůvary), tmavší skvrnky jsou dírky a struska zavařená ve svaru.

Paprsky RTG a paprsky gama jsou elektromagnetické povahy. Šíří se přímočaře rychlostí světla, působí biologicky, chemicky a pronikají pevnými látkami. Při pronikání pevnými látkami ubývá jejich intenzity absorpcí a rozptylem. Po proniknutí pevnými látkami se zachycují na citlivý fotografický film. Zčernáním filmu závisí na množství dopadlého záření. Vady ve svaru, jako struska, bubliny a jiné se projevují větším zčernáním.

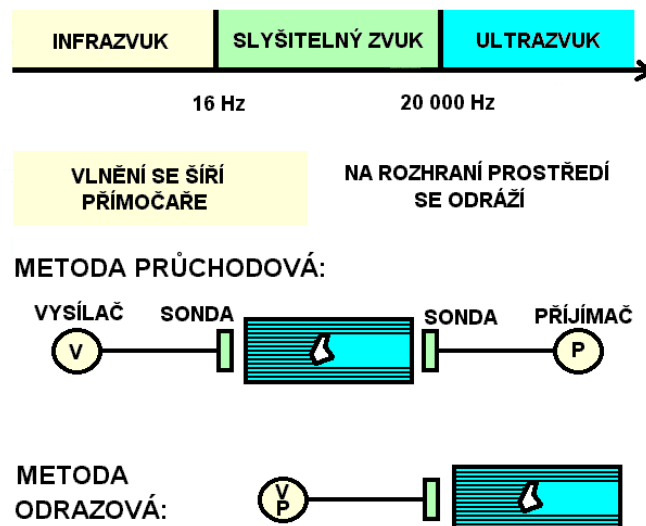
[4,5]

### **V praxi se používají**

Roentgenovy paprsky	Roentgenova lampa
Radioaktivní záření	izotopy (Iridium, Kobalt)
Urychlovače	betatron

## Ultrazvukem

Ultrazvukem nazýváme zvukové kmity o frekvenci vyšší než 20 000 Hz. Ke zkouškám používáme jen jeden druh vln, jsou to vlny příčné. Princip metody spočívá v tom, že zvukové vlny při průchodu materiálem narazí na vadu a odráží se zpět. Tento odražený paprsek se po dopadu na přijímací sondu promění v elektrický impuls, který na stopě oscilografu způsobí výchylku. Pomocí této metody můžeme zjistit přesnou polohu všech vnitřních vad.



[3]

## Elektromagnetická

Princip je založen na přechodu magnetického toku, který prochází od jednoho pólu k druhému nejkratší cestou. Jestliže jsou v materiálu vady, magnetické siločáry se deformují a zhušťují se na okraji chyb. Když je chyba pod povrchem, zhuštěné siločáry vychází na povrch a vytváří tam magnetické póly.

### **Prášková metoda**

Povrch materiálu se posype železným práškem. V případě chyb magnetické póly vytvoří ze železných pilin zhuštěné obrazce. Obrazce vyznačují průběh chyb.

### **Polévací metoda**

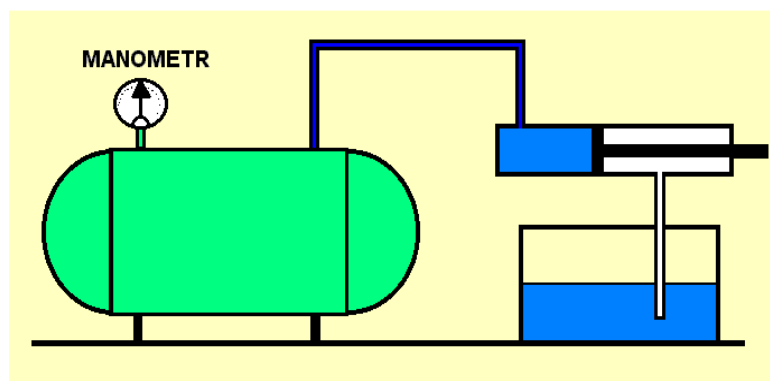
Povrch materiálu se polije emulzí, ve které je rozptýlen železný prášek. Schopnost pohybu železných pilin v emulzi je snadná a proto se orientují ve směru siločar.

### **Kapilární**

Tato zkouška je založena na vzlínivosti kapalin. Jedna strana svaru se nanese plavenou křídou, druhá strana svaru se nanese petrolejem. V případě netěsnosti se objeví mastné skvrny na straně svaru, kde je nanese plavená křída.

### **Vodním tlakem**

Jedna ze základních, nenáročných a rychlých metod. Zkušební přetlak je vždy stanoven v technické dokumentaci, obvykle 1,5 násobek provozního tlaku v soustavě.



## Vakuová

Provádí se tak, že se těsnost zjišťuje vytvořeným vakuem vytvořeným pomocí vývěvy. Tato metoda je rychlá a velice přesná. Nevýhoda této metody spočívá v tom, že jestliže máme ve svaru nepatrnou vadu, tak jí obtížně nalezneme.

[5,10]

## 7. Všeobecná nauka svařování

### 7.1 Příprava materiálu pro svařování

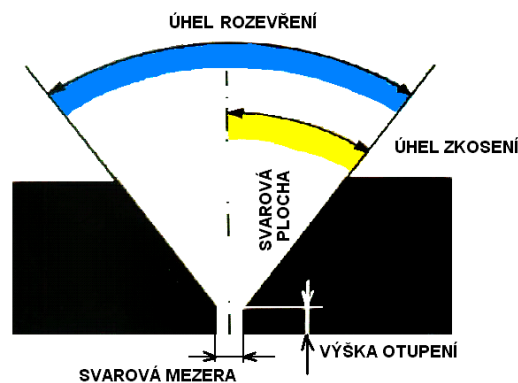
Pro vytvoření kvalitního svarového spoje je potřeba připravit materiál pro svařování. Základní materiál musí splňovat tři důležité podmínky.

- čistotu materiálu
- správný tvar s rozměr
- síla materiálu

### Požadavky na čistotu materiálu

Při hoření elektrického oblouku vzniká vysoká teplota, molekuly nečistot disociují a nové atomy přecházejí do svarového spoje čím výrazně ovlivňují kvalitu svarového spoje. Příklady nečistot. Mastnota, barva, rez, voda atd.

### Úprava základního materiálu před svařováním



[10]

## 7.2 Svařitelnost

Svařitelnost ocelí se rozlišují podle jejich chemického složení, tloušťky průřezu polotovaru a vyjadřuje se v normách jakosti:

### 1A – zaručená

Výrobce zaručuje svařitelnost ocelí při svařování za teploty až do 00C bez zvláštních opatření při svařování.

### 1B – zaručená s podmínkou

Výrobce zaručuje svařitelnost ocelí při dodržení předem určených podmínek uvedených v materiálovém listě.

### 2 – dobrá

Výrobce nezaručuje svařitelnost, ale ve většině případech lze dosáhnout vyhovující svarový spoj.

### 3 – obtížná

Výrobce nedoporučuje svařování.

Svařitelnost ocelí se dá určit také výpočtem ze vzorce. Rozhodujícím prvkem, který ovlivňuje svařitelnost je uhlík C, kterého obsah v zaručeně svařitelné oceli nemá přesáhnout 0,22%. Vliv ostatních prvků uvádí – tzv. výpočet ekvivalentního obsahu uhlíku. Ekvivalent uhlíku C nemá přesáhnout hodnotu 0,5%.

### Ekvivalent uhlíku C dle IIW/IIIS

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

[3,5]

### **Rozdělení podle obsahu uhlíku**

Nízkouhlíkové	do 0,25%
Středněuhlíkové	0,25-0,6%
Vysokouhlíkové	nad 0,6%

### **Třídy ocelí**

Třída 10, 11, 12

Jsou oceli konstrukční nelegované

Třída 13, 14

Jsou oceli konstrukční nízko legované

Třída 15, 16

Jsou oceli konstrukční středně legované

Třída 17

Jsou oceli středně a vysokolegované (antikorozi, žáruvzdorné)

Třída 18

Nejsou oceli, ale slinuté karbidy (SK-plátky)

Třída 19

Jsou oceli nástrojové (nelegované, legované)

### **7.3 Přídavné materiály**

Jsou to kovy , které se v tekutém stavu přidávají do svaru při tavném svařování. Tvar a úprava přídavného materiálu závisí na způsobu svařování. Pro svařování plamenem používáme holý drát. Pro ruční svařování el. obloukem obalené elektrody a cívky s drátem při svařování metodou MIG a MAG. Přídavný materiál se při tavném svařování přetaví a v oblasti závaru se spojí se základním materiálem. Použití vhodného přídavného materiálu je jedním z hlavních předpokladů pro svařování. Proto je důležité, aby svářeč znal základní typy a uměl se při jejich volbě správně rozhodnout.

[3,6]



## Úkol obalu elektrody

Stabilizace oblouku V obalu jsou látky, které usnadňují zapalování a klidné hoření oblouku (sodík, vápník, titan). Vytvoření dostatečného množství ochranného plynu. V obalu jsou obsaženy plynotvorné látky (celulóza), která vytváří clonu ochranných plynů před působením vzdušné atmosféry. Vytvoření dostatečného množství strusky. Struska má vhodně chemicky reagovat s roztaveným kovem, tvořit formování kresby svarového kovu, ochranu před vzduchem a zpomalení chladnutí (živec, kazivec, vápenec, rutil).

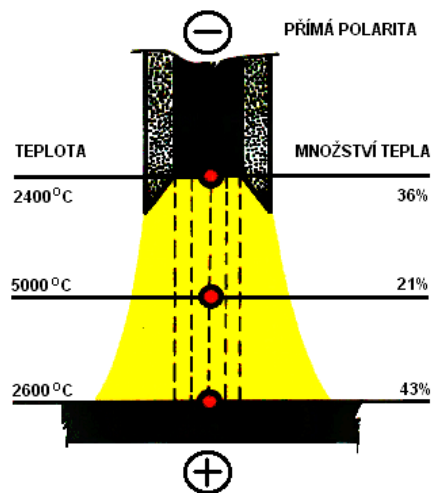
## Značení přídatného materiálu podle ČSN 05 50 20

E – 44.83

E	elektroda pro ruční obloukové svařování
44	minimální pevnost v tahu v desítkách MPa
8	jakostní třída elektrody
3	druh obalu

### 7.4 Elektrický svařovací oblouk

Je fyzikální jev, který patří mezi elektrické výboje. Je to proces, při kterém prochází elektrický proud plynným prostředím. Plynným prostředím je míněn prostor mezi elektrodami a je za normální teploty (20°C) a atmosférickém tlaku nevodivý. Toto prostředí je tvořeno molekulami a atomů plynů, které jsou na sebe vázány a pohybují se rychlostí, jež je dána teplotou plynu. Dostoupí-li teplota několik tisíc stupňů Celsia, dochází pak při vzájemných srážkách k rozbíjení molekul na atomy – disociace a atomů na jednotlivé částice – ionizace. V takto upraveném prostředí pak volné elektrony zprostředkují tok elektrického proudu tzv. termická ionizace. Je to nejčastější způsob převedení nevodivého plynu, na vodivý. Z tepla vyvinutého obloukem se využívá asi 75-85%, zbytek uniká do okolí jako světlo a jiné druhy záření.



### Hlavní části elektrického oblouku

Sloupec elektrického oblouku má tvar kužele směrem od katody k anodě se rozšiřujícího. Teplota sloupce je v jeho ose cca 5000 – 7000°C a směrem k okraji klesá. Katodová oblast (-) má katodovou skvrnu, ze které jsou emitovány elektrony k anodě. Anodová oblast (+) má vyšší teplotu než katoda, což je způsobeno přeměnou kinetické energie dopadajících elektronů z katody.

[1,2 ,5]

### Přímá polarita

Je připojení elektrody na minus pól stejnosměrného proudu a základní materiál na plus pól.

### Nepřímá polarita

Je připojení elektrody na plus pól stejnosměrného proudu a základní materiál na minus pól.

### **Foukání elektrického oblouku**

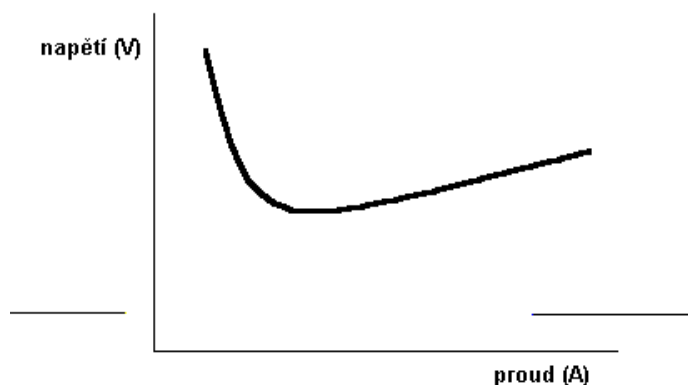
Tento negativní jev vzniká působením vnějších vlivů, které nám deformují magnetické pole v okolí oblouku. Kolem každého vodiče, kterým protéká elektrický proud, tedy i kolem elektrody při svařování a vlastního oblouku existuje silné elektromagnetické pole v rovinách kolmých na elektrický oblouk. Toto magnetické pole působí na oblouk, který deformuje. Oblouk není v ose svařování. Do vnějších vlivů zařazujeme změny geometrie svařovaných předmětů, teplotu materiálu způsobující ztrátu magnetismu, sklon elektrody a daleko umístěnou svařovací svorku. S foukáním el. oblouku se nejčastěji projevuje na začátku a konci svaru, rozích, dutinách apod.

### **Opatření snižující foukání elektrického oblouku**

- náklonem elektrody proti směru foukání oblouku
- přemístění svařovací svorky
- použitím střídavého zdroje
- použitím tzv. foukací cívky (u uhlíkových elektrod – dnes se již nepoužívá)
- použitím správného technologického postupu

[10]

### **Voltampérová charakteristika elektrického oblouku**



[10]

## 7.5 Rozdělení svařovacích zdrojů

Svařovací zdroje rozdělujeme podle několika kritérií

### Podle výstupního proudu na

Stejnoseměrné (agregáty, usměřovače)

Střídavé (transformátory)

Točivé (agregáty)

### Podle konstrukce na

Točivé (agregáty)

Netočivé (usměřovače, transformátory)

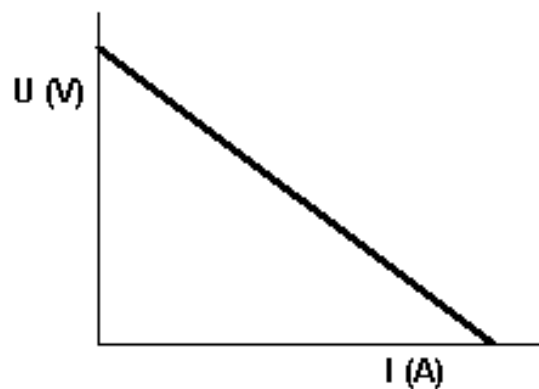
### Podle voltampérové charakteristiky na

S konstantním výkonem      polostrmá

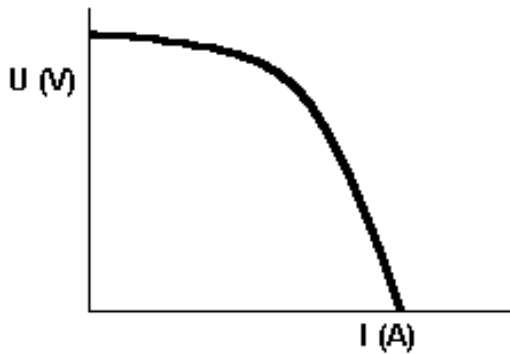
S konstantním proudem      strmá

S konstantním napětím      plochá

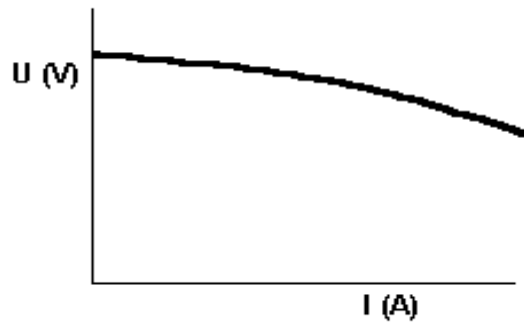
### Polostrmá charakteristika



### Strmá charakteristika



### Plochá charakteristika

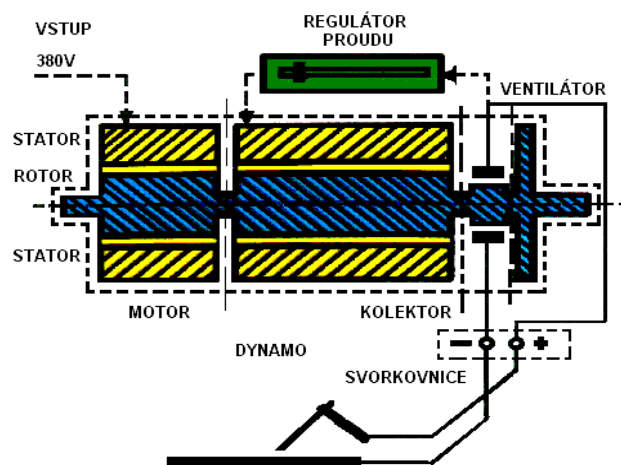


[10]

Pro ruční obloukové svařování je nejlepší strmá charakteristika (s konstantním proudem) svařovacího zdroje. Při změně délky oblouku nedochází k velké změně proudových hodnot. Částečně se mění hodnota napětí. U ploché charakteristiky (s konstantním napětím) je tomu naopak. Proud má vliv na hloubku závaru a pnutí ve svaru. Pro svařování metodou MAG, MIG se naopak používá charakteristika plochá.

### Svařovací dynamo

Skládá se ze statoru a rotoru s komutátorem, který je složen z měděných pásků vzájemně izolovaných. Na obvodu komutátoru jsou sběrací a budící uhlíky. Mezi elektromotorem a dynamem je zpravidla ventilátor. Dále se skládá z vypínače, regulátoru proudu a svařovacích kabelů.



## Výhody

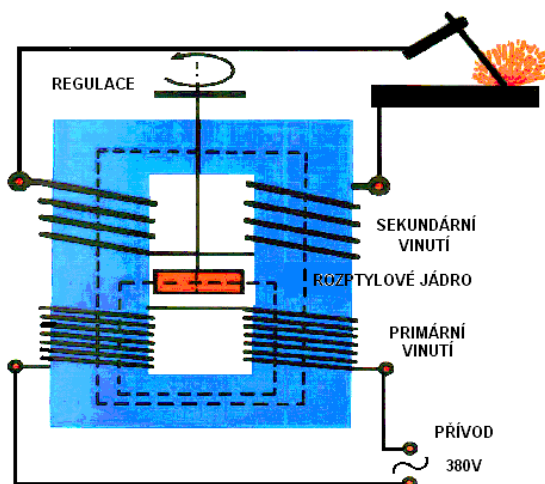
Výborná proudová charakteristika, svařování všemi elektrodami, dálkové ovládání svařovacího proudu.

## Nevýhody

Velký příkon při běhu na prázdno, hluk, prašnost, hmotnost a rozměry. Svařovací dynamo je také náročnější na údržbu. V dnešní době se téměř nepoužívají.

### Svařovací transformátor

Ocelové jádro je složeno z tenkých křemíkových plechů. Na jednom konci je navinuto primární vinutí, (tenký drát, velký počet závitů), na druhém konci je navinuto sekundární vinutí, (silný drát, malý počet závitů). Pro regulaci se používá tzv. rozptylové jádro, které podle své polohy odvádí větší nebo menší část magnetického pole. Protéká-li střídavý proud odebraný ze sítě primárním vinutím, vzniká v ocelovém jádře střídavé magnetické pole, které budí (indukuje) v sekundárním vinutí střídavé napětí, takže lze ze sekundárního vinutí odebrat svařovací proud. Kromě rozptylového jádra se pro regulaci používá rovněž regulace svařovacího proudu pomocí odboček v primárním vinutí, zde se ale jedná o stupňovitou regulaci.



### **Výhody**

Malá spotřeba při běhu naprázdno, hlučnost, prašnost, hmotnost a rozměry.

### **Nevýhody**

Omezené použití jednotlivých druhů elektrod. Není možné použít speciální elektrody. Velký vliv výkyvů v síti na svařovací proud. Také se nestejně zatěžuje elektrická síť.

### **Usměrňovače**

Tyto svařovací zdroje se uplatňují především v průmyslové výrobě. Skládají se z transformátoru, usměrňovacího článku a regulátoru svařovacího proudu. Podle způsobu usměrnění je rozdělujeme na křemíkové, selénové, germaniové a tyristorové.

### **Výhody**

Možnost použití všech druhů elektrod. Malý odběr při běhu na prázdko. Možnost nastavení různé voltampérové charakteristiky. U některých modelů se dá použít dálkové ovládání. Při běhu na prázdko je menší příkon než u svařovacích dynam.

### **Nevýhody**

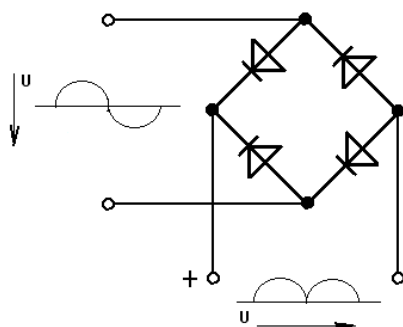
Jsou to především velké pořizovací náklady. Vliv výkyvů v síti na svařovací proud. Poměrně velký příkon a také hmotnost svařovacího zdroje.

### **Usměrnění střídavého proudu na stejnosměrný**

Usměrnění proudu se provádí pomocí polovodičových diod zapojených do Greutzova můstku. V usměrňovacím obvodu bývá zařazena tlumivka, která nám působí jako setrvačnick a brání poklesu proudu mezi jednotlivými půlvlnami. V konstrukci usměrňovačů se v současnosti používá tyristorů, které je možno řídit. Použití tyristorů umožňuje měnit charakteristiku zdroje. Volíme zdroj s plochou charakteristikou a pomocí elektroniky můžeme svařovací zdroj změnit na zdroj s charakteristikou strmou. Zdroj je tvrdý.

[4,10]

## Greatzův můstek



### Invertor

Je to střídačový moderní zdroj, který má v současnosti obrovské využití, jak v průmyslové výrobě, tak i v domácnostech. Vyznačuje nízkou hmotností a výbornými svařovacími charakteristikami. Je vybaven mikroprocesorem, který nám řídí veškeré parametry při svařování. Síťový filtr vyrovnává nestabilitu sítě. Tlumící kondenzátory akumulují energii a tím stabilizují napětí. Invertor dodává kladné a záporné složky střídavého proudu o vysoké frekvenci. Tím se zajistí rovnoměrné využití síťového napětí a snížení hmotnosti transformátoru až o 80%. Regulátor napětí porovnává nastavené hodnoty napětí se skutečnými a rozdíly se vyrovnávají zpětnou vazbou.

### Výhody

Velice rychlá regulace napětí. Stabilní oblouk je téměř bez rozstříku. Snadná a rychlá regulace napětí. Velikou výhodou jsou malé rozměry a hmotnost zdroje. Dnes už i příznivá pořizovací cena.

### Nevýhody

Před několika málo lety velmi vysoká cena svařovacího zařízení.

Invertor



[4,10]



## 8. Závěr

Účelem této bakalářské práce bylo všeobecné seznámení s aktuální odbornou literaturou z oblasti sváření kovů a vyhledání dalších podmětných informací. V odborné literatuře jsem se především zaměřil na základní pojmy, normy EN a ČSN, metody a názvosloví, které souvisí se svařováním kovů.

V úvodní části práce jsem se zaměřil na historii svařování a obecné rozdělení evropských norem svařování. Dále jsem popisoval, jak se značí druh metody svařování a skupina základního materiálu.

Metody svařování jsem se pokusil popsat tak, aby byly při studiu co nejsrozumitelnější. Také jednotlivé techniky, které jsem studoval v doporučené odborné literatuře jsem se snažil podat tímto způsobem.

Zkoušení svarů a svarových spojů jsem doplnil o praktické ukázky, které vhodně doplní pohled na tento pevnostní zkoušky.

Na závěr v práci popisuji všeobecně technologii svařování, kde jsem se hlavně zaměřil na svařitelnost ocelí a svařovací zdroje, které jsou podle mého mínění důležité z praktického hlediska.

Předpokládám, že text, uvedený v bakalářské práci bude možno využít při výuce tohoto tématu na katedře fyziky pedagogické fakulty.

Zpracování tohoto tématu jsem prováděl poprvé. Zkušenosti, které jsem měl z oboru svařování kovů jsem si obohatil a také jsem získal zkušenosti zpracováním rozsáhlých odborných prací.

## 9. Seznam použitých zdrojů

- [1] Engst P., Horák, M.: Aplikace laserů. SNTL Praha 1989.
- [2] Minařík V. Obloukové svařování. Scientia Praha 1998.
- [3] Minařík, V.: Tepelné dělení materiálu. ČVUT Praha 1993.
- [4] Kuncipál, J., Pilous, V., Dunovský, J.: Nové technologie svařování. SNTL Praha 1984.
- [5] Kuncipál, J. a kol.: Teorie svařování. SNTL Praha 1986.
- [6] Gibson S.W. : Advanced welding. Macmillan Press LTD , London 1997
- [7] Turňa, M.: Špeciálne metódy zvarania. ALFA Bratislava 1989.
- [8] Kučera J.: Teorie svařování VŠB Ostrava, 1991.
- [9] ČSN ISO 857 Metody svařování, tvrdého a měkkého pájení, 1997
- [8] Kučera J.: Teorie svařování VŠB Ostrava, 1991.
- [9] ČSN ISO 857 Metody svařování, tvrdého a měkkého pájení, 1997
- [10] Učební materiály svářecí školy Mane – Kovo
- [11] Prospektový materiál firmy : LINDE, AGA, FRONIUS, MIGATRONIC, ESAB