

# Dělení a svařování svazkem plazmatu

*RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.*

Osnova:

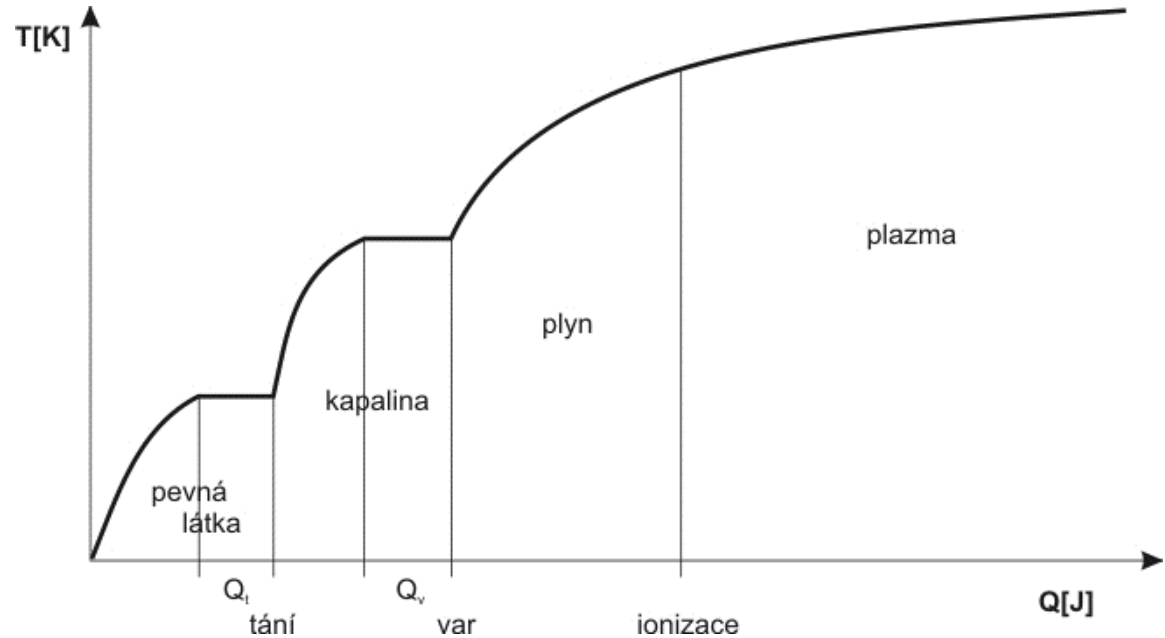
- Fyzikální podstat plazmatu
- Zdroje průmyslového plazmatu
- Dělení materiálu plazmou
- Svařování plazmovým svazkem
- Mikroplazma



# Co je to plazma?

## Čtyři stavy látky

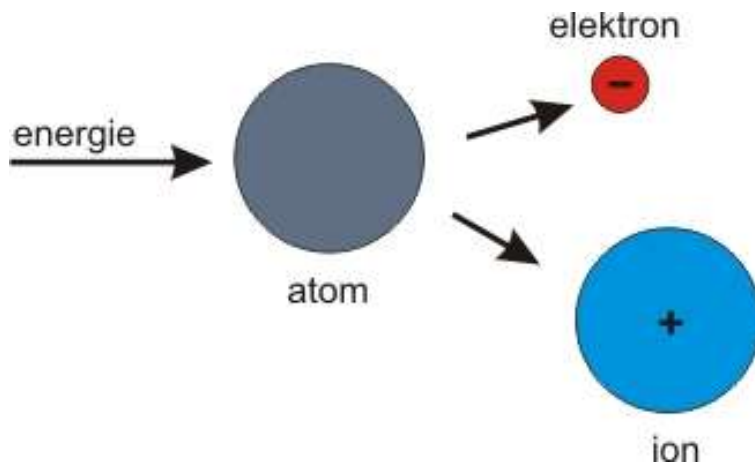
- pevná látka
- kapalina
- plyn
- PLAZMA



**Plazma** je plyn obsahující nabité částice (elektrony, ionty) a navenek je elektricky neutrální

# Vznik plazmatu

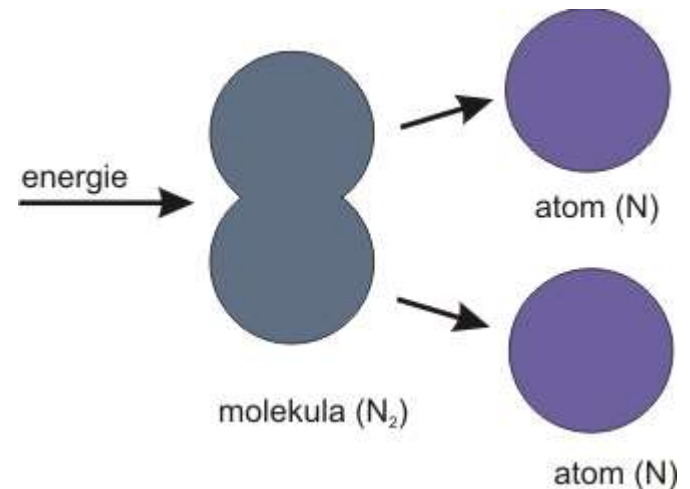
## Ionizace



Ionizační energie [eV]

Ar	15,7
He	24,6
Xe	12,1
H	13,6
N	14,5
O	13,6

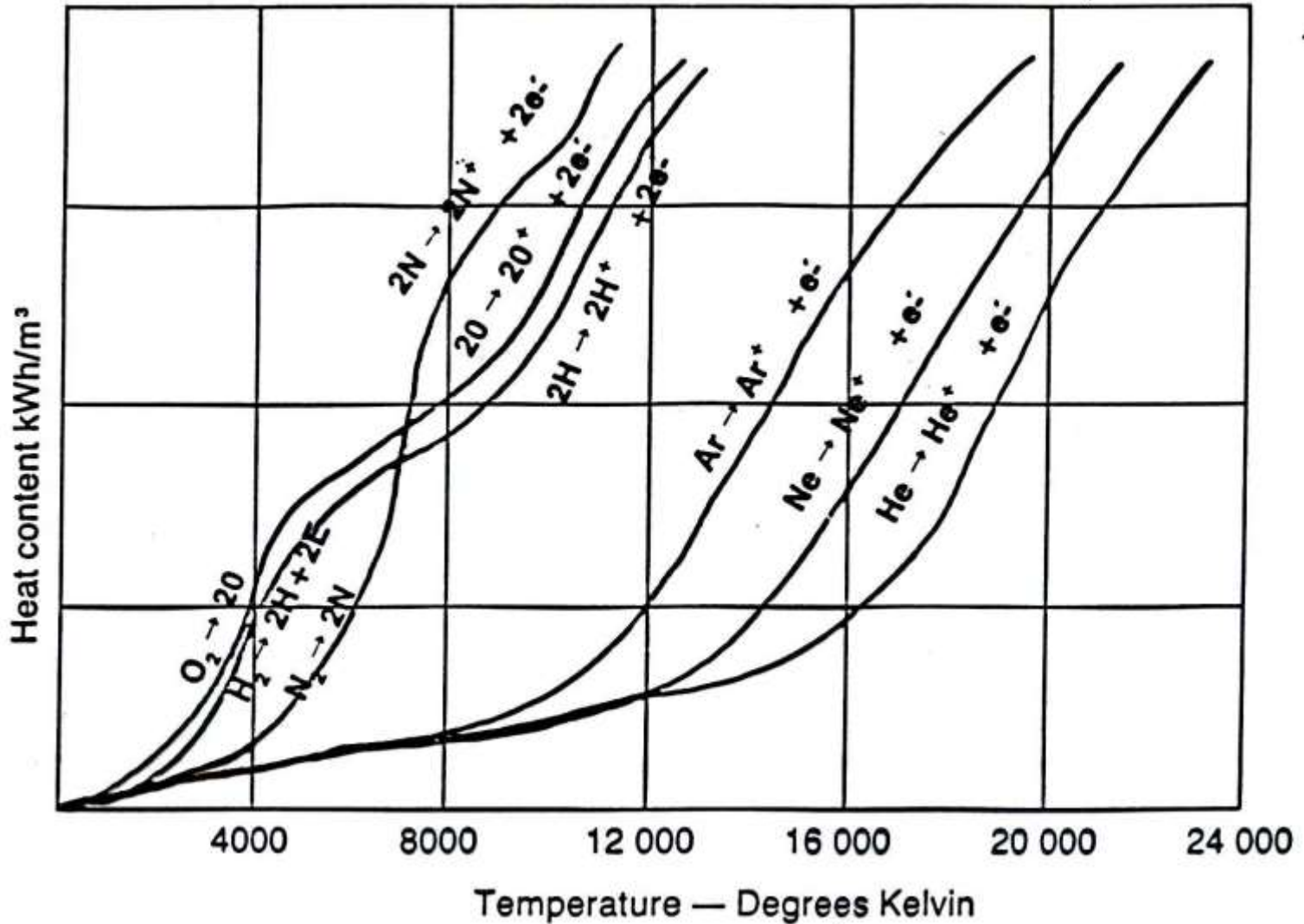
## Disociace



Disociační energie [eV]

H <sub>2</sub>	4.46
O <sub>2</sub>	5.11
N <sub>2</sub>	9.76
CO <sub>2</sub>	9.60
H <sub>2</sub> O	5.00

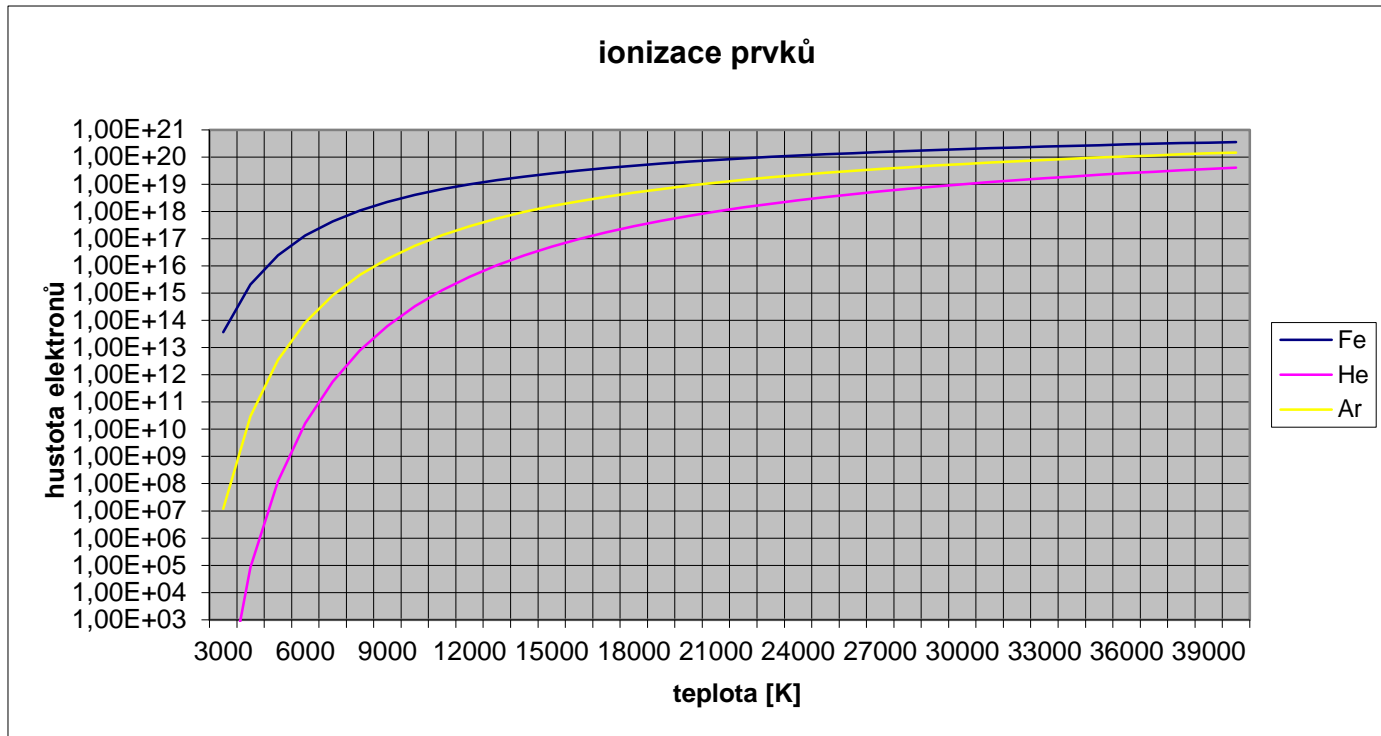
# Energie v plazmatu



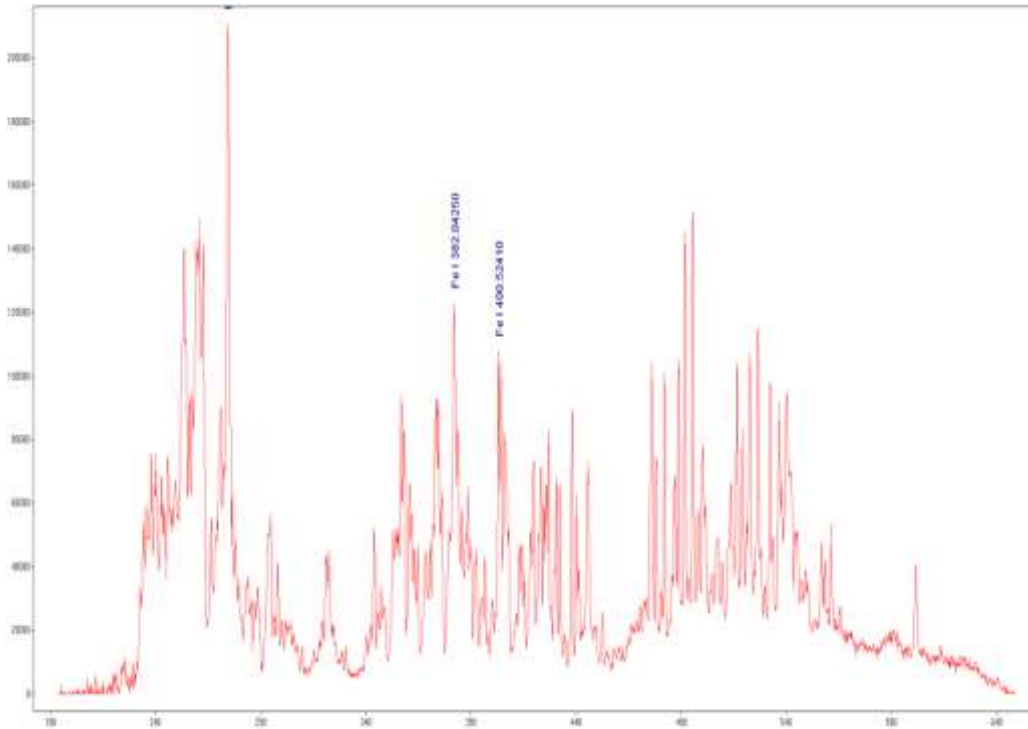
# Stupeň ionizace

Sahova rovnice

$$n_e = An^{1/2}T_e^{3/4} \left[ \exp \left[ -\frac{\Theta}{T_e} \right] \right]^{1/2}$$



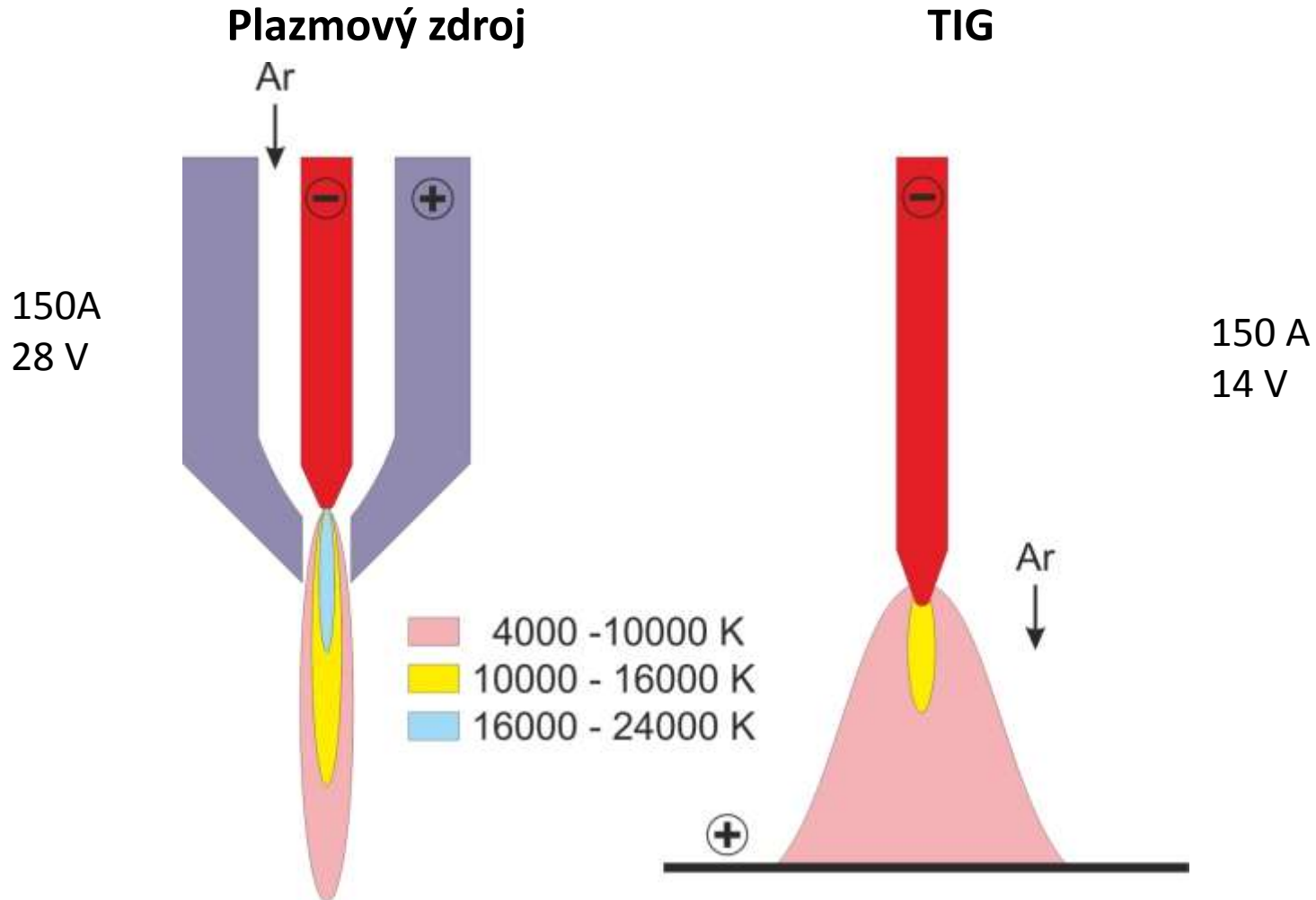
# Měření teploty plazmatu



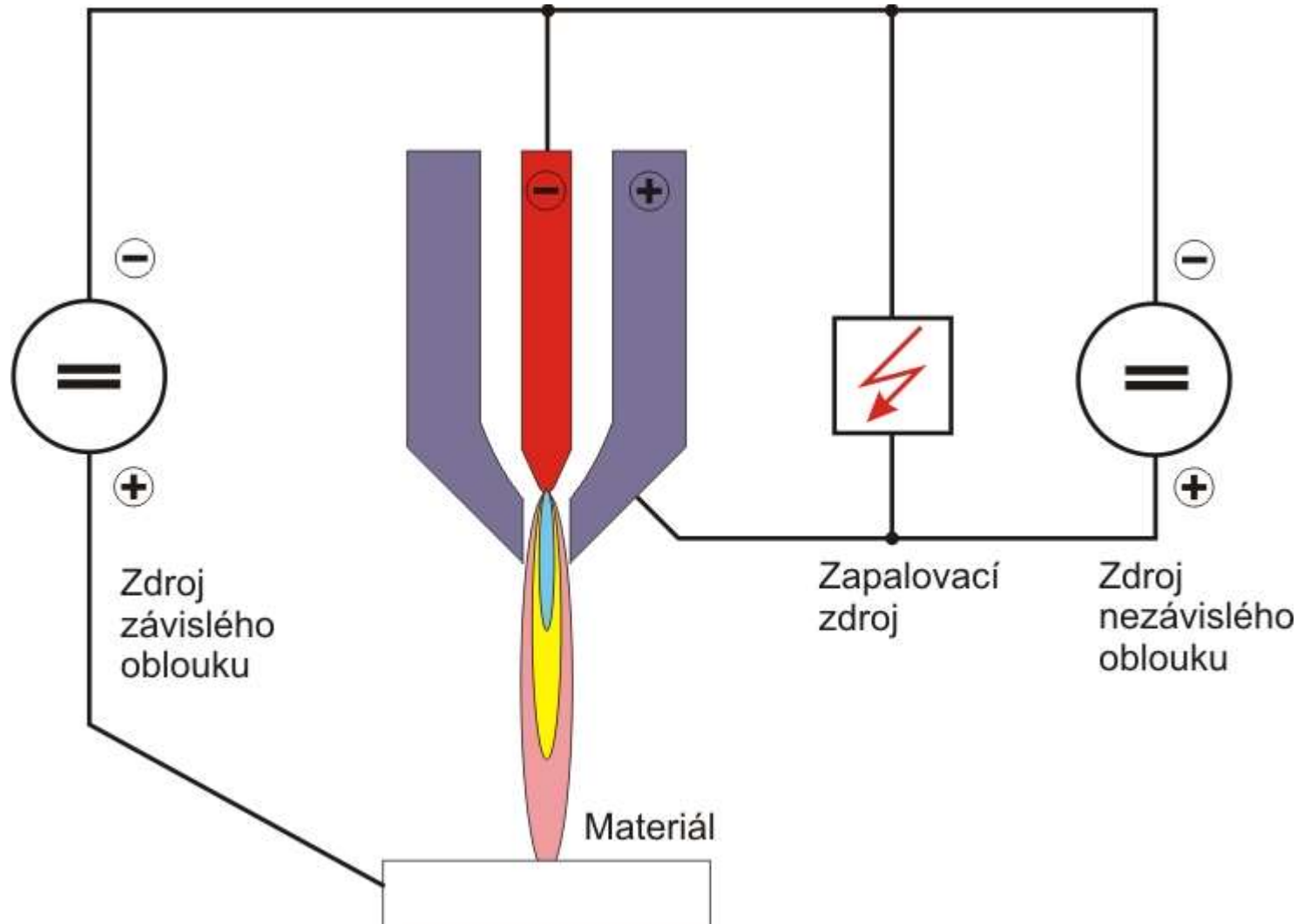
Teploty různých druhů plazmatu:

- vodíkové 8000 K
- dusíkové 7000 K
- argonové 15000 K
- héliové 20000 K

# Zdroje plazmatu

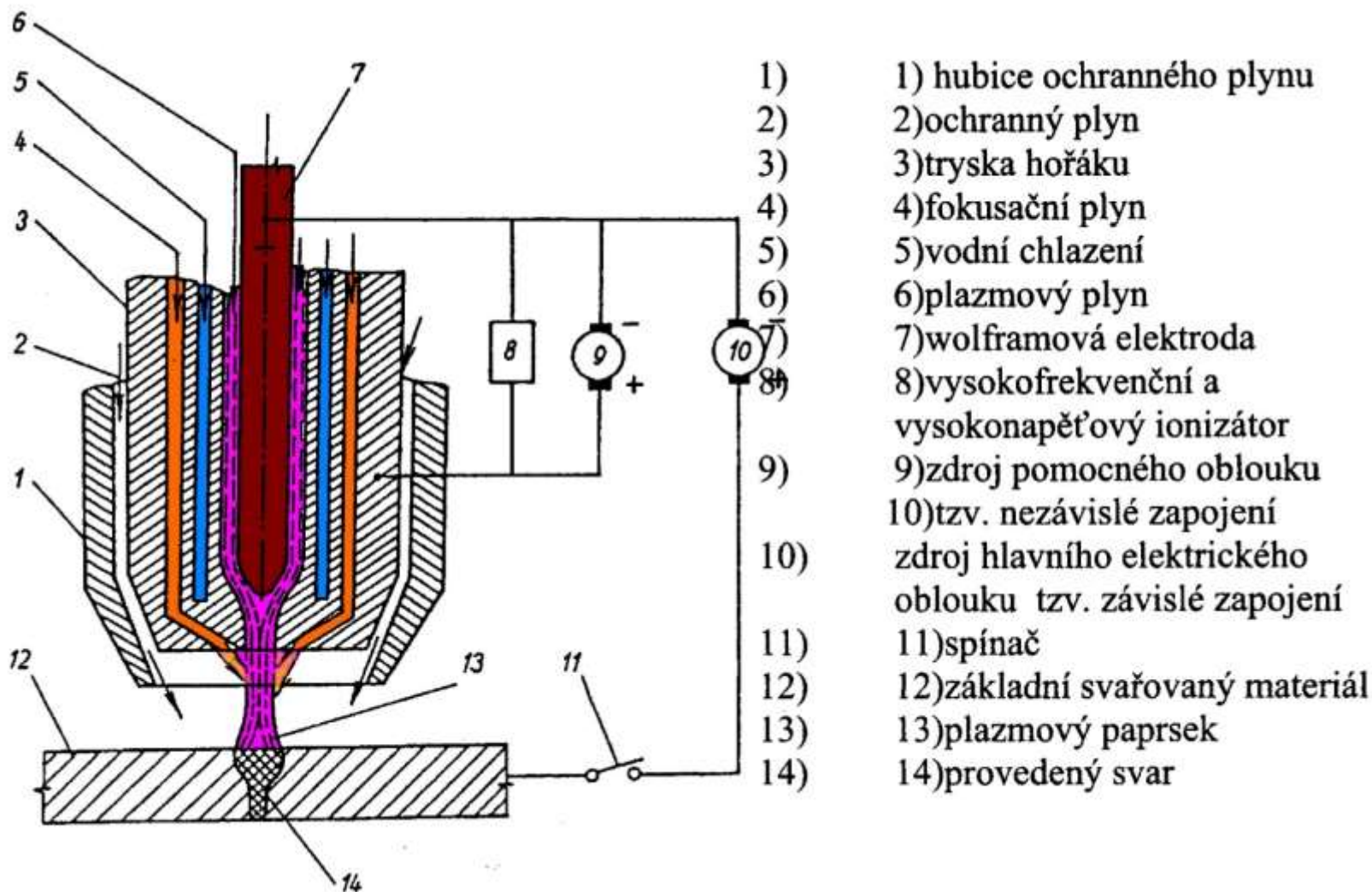


# Zapojení plazmového hořáku

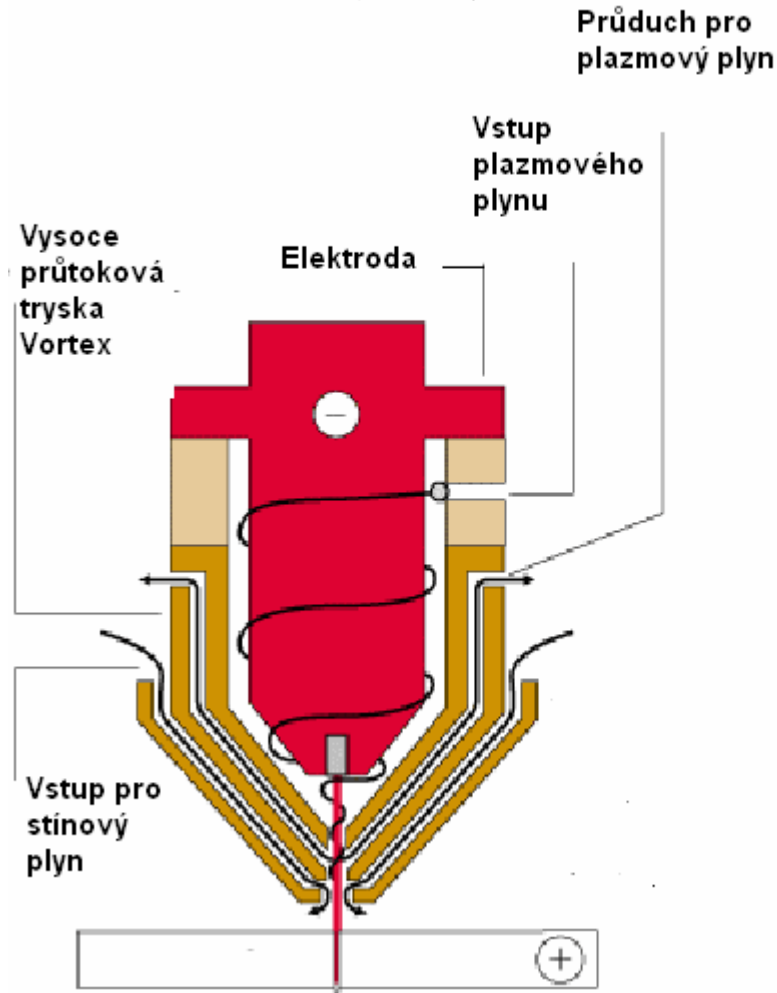




# Konstrukce plazmového hořáku



# Plazmový hořák s vírovou stabilizací



# Konstrukce plazmového hořáku

Ochrana  
hořáku

Krytka

Tryska  
hořáku

Vířivý  
kroužek

Elektroda

Rozvod  
vody

Těleso



# Technologie využívající plazma

- Svařování
- Řezání
- Plazmové nástřiky

# Dělení materiálů plazmovým svazkem

- Využívá vysoké teploty úzkého svazku plazmatu k rychlému natavení materiálu
- Při návratu do neutrálního stavu – neutralizaci, dochází k zpětnému předání ionizační energie do materiálu
- Odstraňování roztaveného materiálu se děje dynamickým účinkem proudění plazmatu ( $1500-2300 \text{ m s}^{-1}$ )
- Lze řezat všechny kovové materiál
- Řezná rychlost závisí na výkonu zdroje a na termofyzikálních vlastnostech řezaného materiálu a na typu plazmového plynu.
- Maximální tloušťka do cca 250 mm
- Napětí na oblouku kolem 150 V
- Zapálí se pilotní oblouk (nezávislý zdroj) a od něho vlastní řezací oblouk

# Typy plazmatu pro řezání

Typ plazmatu	Řezná rychlost	Kvalita řezu	Tloušťka řezu	Vhodné pro
Vzduch	Vysoká	Průměrná	40 mm	Konstrukční o
Ar+H <sub>2</sub>	Nízká	Vysoká	20-65 mm	Legované ocele(Ni, Mo)
N <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O	Vysoká	Vysoká	100	Vysokolegované ocele
O <sub>2</sub>	Vysoká	Vysoká	140 mm	Konstrukční

HD plazma : další zúžení plazmového svazku odvedením jeho vnější (chladnější) části. Plazmový plyn – kyslík.

# Vlastnosti plazmového řezání

## Výhody

- Vyšší řezné rychlosti oproti autogenu pro malé a střední tloušťky
- Snížení vneseného tepla – menší TOO a deformace
- Možnost řezání i vysoce legovaných materiálů a barevných kovů
- Snadná automatizace a mechanizace
- Možnost úkosování
- Řezání ruční nebo strojní

## Nevýhody

- Podřez je větší než u autogenu a laseru
- Horní řezná hrana je oblejší než u autogenu
- Velký vývin dýmů, ozónu a NO<sub>x</sub>
- Vysoká hladina hluku okolo 100 dB
- Obtížné propalování otvorů u tlouštěk nad 15 mm, nutné předvrtání

# Příklady



Ruční vzduchová  
plazma



Portálové řezací plazmové zařízení

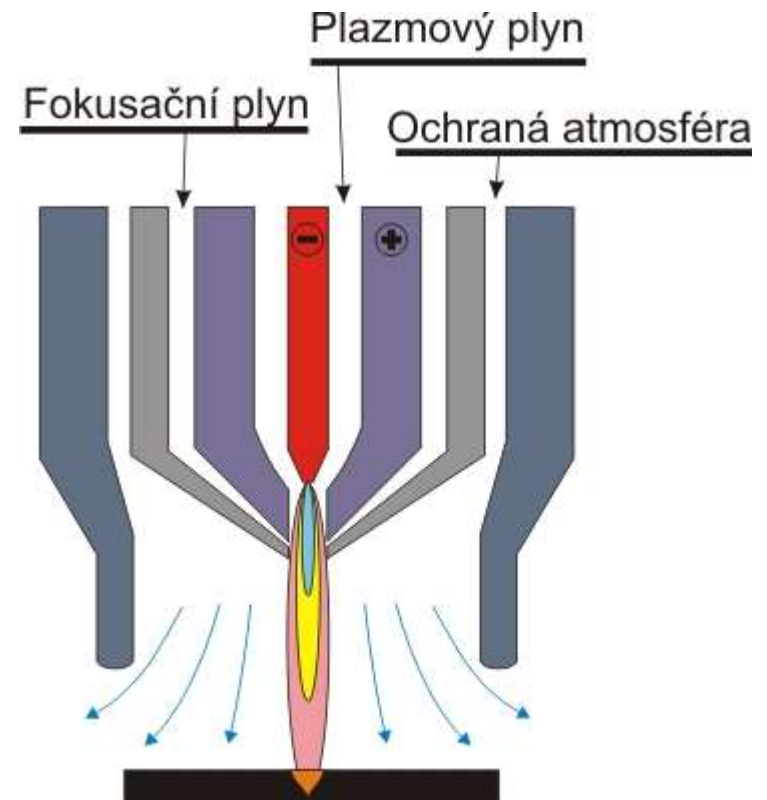


# Příklady



# Svařování plazmou

- Úzký svazek plazmatu z hořáku (opět tryska dvojitá s plazmovým a fokusačním plynem) vnáší do materiálu teplo rychleji, než se stačí odvést kondukcí. Díky tomu vzniká malá svarová lázeň.
- Hořák je doplněn další koaxiální tryskou přivádějící ochranný plyn k potlačení oxidace svarové lázně
- Za určitých svařovacích podmínek vlivem dynamického účinku proudícího plazmatu dochází k vzniku dutiny (keyhole) umožňující mnohem hlubší průvar.
- Výsledek svařování závisí na proudové hustotě v plazmatu, průměru paprsku a jeho maximální teplotě



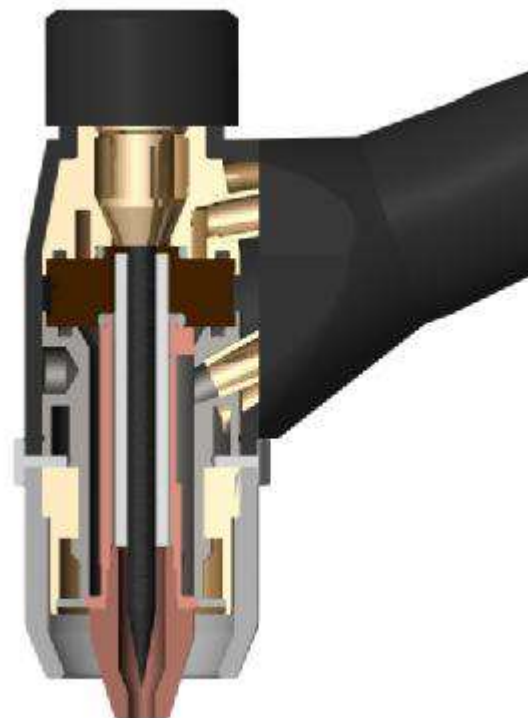
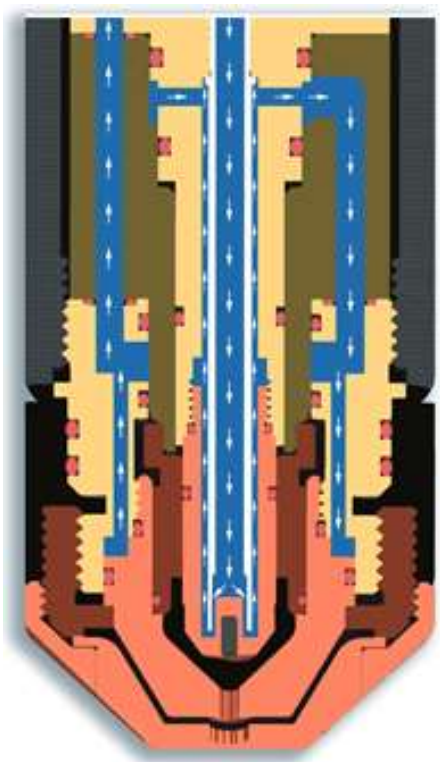
# Svařování plazmou s tvorbou key hole



# Typy plynů

- **Plazmový plyn** používá se Ar, He nebo Ar + H<sub>2</sub> Množství 1 – 8 l.min<sup>-1</sup>. Při Výstupní rychlost plazmatu díky termické expanzi dosahuje 200 – 500 m.s<sup>-1</sup>. Při vzniku dutiny umožňující průnik celou tloušťkou materiálu je nutné nastavit svařovací parametry tak, aby došlo k rovnováze mezi tímto silovým účinkem a povrchovým napětím taveniny aby nedocházelo k vyfukování taveniny ze spáry.
- **Fokusační plyn** pro zúžení paprsku. Používá se směs Ar + H<sub>2</sub> nebo Ar + N<sub>2</sub> s průtokem 4 – 7 l.min<sup>-1</sup>
- **Ochranný plyn** chrání svarovou lázeň před účinky atmosféry. Používají se Ar, Ar + H<sub>2</sub>, Ar + N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> a podobné. Průtočné množství je kolem 15 – 25 l.min<sup>-1</sup>

# Příklady svařovacího hořáku



# Srovnání

Předností plazmového svařování je

- stabilní svařovací proces,
- charakteristický tvar svaru – zejména kořene, což umožňuje svařování bez podložení kořene až do tlouštěk 10 mm.
- na zvýšení hustoty energie se podílí ochranný (fokusační) plyn. Koncentrované teplo zaručuje hluboké natavení základního materiálu, dobré formování kořene a charakteristický průřez svaru.
- ve srovnání s laserovým paprskem má plazmový oblouk nižší koncentraci energie, avšak nesrovnatelně vyšší energetickou účinnost a nižší celkové provozní náklady
- Do 30 A tzv. mikroplazma (na malé tloušťky plechu)
- Nad 100 A penetrační plazmové svařování (průvarem)

# Výhody

- vyšší rychlost svařování oproti MIG a TIG
- menší tepelně ovlivněná oblast, a tím i menší deformace,
- menší převýšení svaru, a tím i snížení pracnosti následného opracování svaru,
- vynikající vzhled svaru při snadné reprodukovatelnosti,
- vynikající kvalita svaru (tzv. rentgenová čistota),
- snížení pracnosti přípravy svarových ploch,
- do tloušťky 8 mm není nutné svarové plochy úkosovat,
- lze svařovat jedním průchodem a pouze z jedné strany,

# Příklad plazmového svařování





# Mikroplazma

- Proudová intenzita se pohybuje v rozsahu 0,05 – 20A
- Lze svařovat i kovové fólie síly 0,01 mm
- Maximální tloušťka je cca 2 mm.
- U fólii je kritické napolohování při spoji natupo



# Příklad svařování mikroplazmou



# Oblasti použití

Společným znakem všech oblastí použití svařování plazmou je vysoká kvalita a produktivita procesu při minimálním tepelném ovlivnění základního materiálu. To vše předurčuje použití této metody zejména pro svařování ušlechtilých materiálů v následujících oblastech průmyslu:

- jaderný průmysl,
- chemický průmysl,
- potravinářství,
- elektronika,
- stavba lodí,
- letecký průmysl
- automobilový průmysl.

Zvláštní postavení má plazmové svařování tlakových nádob a potrubních systémů v chemickém a potravinářském průmyslu. Kombinací svařovacího procesu s vhodnými zařízeními lze docílit optimálních kvalitativních i ekonomických ukazatelů.