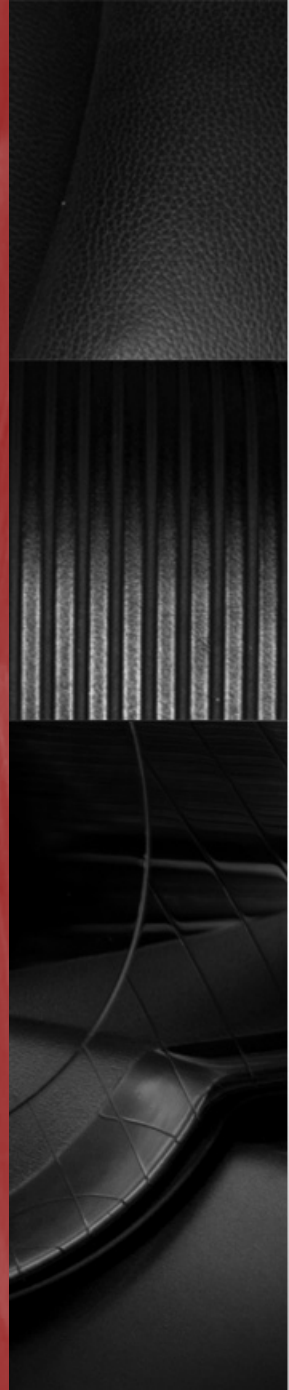


# Povrchové kalení laserem

## Navařování laserem

Doc. RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.





# Osnova

- Proč laserový paprsek, vlastnosti laserového svazku
- Používané lasery
- Princip povrchového kalení
- Technika kalení
- Princip navařování
- Materiály pro navařování
- Technika navařování
- Příklady

# Charakteristika laserového svazku jako zdroje tepla

- Ostře ohraničený zdroj tepla
- Vysoká hustota výkonu ( $10^6 \text{ Wcm}^{-2}$ )
- Možnost tvarování tvaru
- Možnost vychylování paprsku

**technologie**

dělení

svařování

kalení

navařování

průměr vlákna

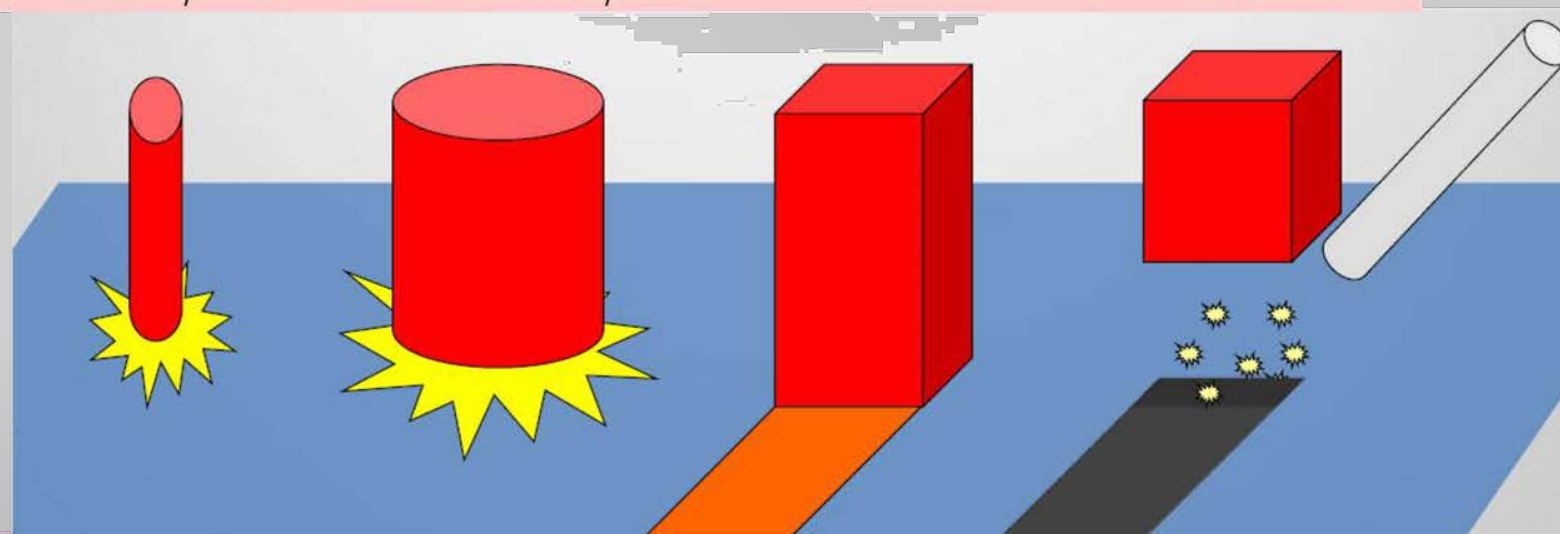
100  $\mu\text{m}$

200 - 1200  $\mu\text{m}$

> 1 mm

> 1 mm

**Výkon laseru 3 kW**



**velikost stopy**

prům. 0,1 mm

prům. 0,6 mm

spot 20x5 mm

spot 5x5 mm

**výkonová hustota**

37,5 MW/cm<sup>2</sup>

1,0 MW/cm<sup>2</sup>

2,4 kW/cm<sup>2</sup>

12 kW/cm<sup>2</sup>

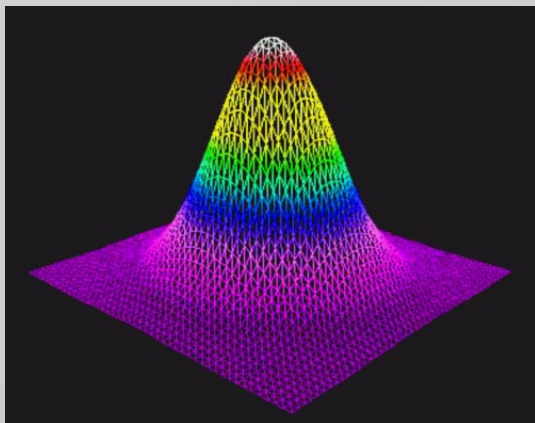
# Typy laserů používané pro povrchové kalení a navařování

| Typ                   | Vlnová délka [μm] | Účinnost [%] | Vedení opt. vláknem | Schopnost fokusace |
|-----------------------|-------------------|--------------|---------------------|--------------------|
| CO <sub>2</sub> laser | 10,6              | 5            | Ne                  | střední            |
| Vláknový              | 1,07              | 48           | Ano                 | vysoká             |
| Diskový               | 1,06              | 35           | Ano                 | vysoká             |
| Diodový               | ≈ 1               | 47           | Ano                 | malá               |

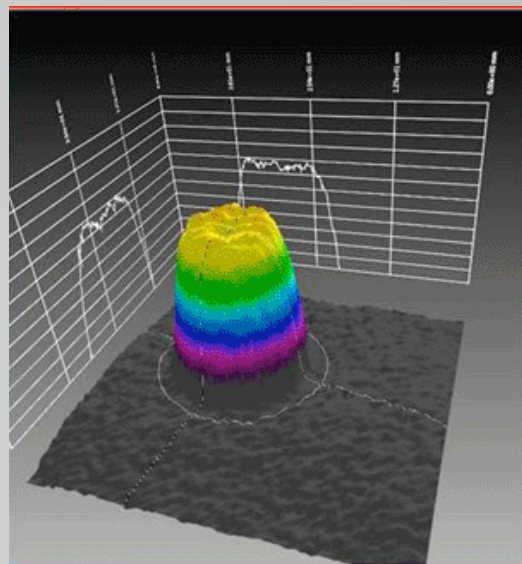
# Požadavek na fokusaci svazku

Je třeba ploška NE bod

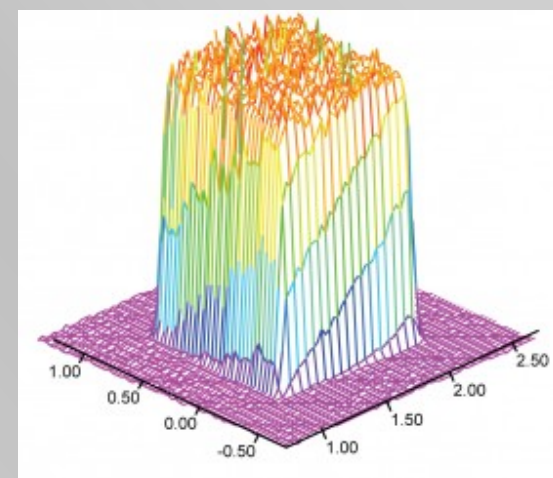
Gaussův profil



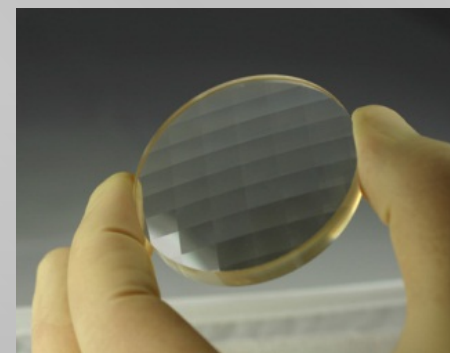
„Top hat „



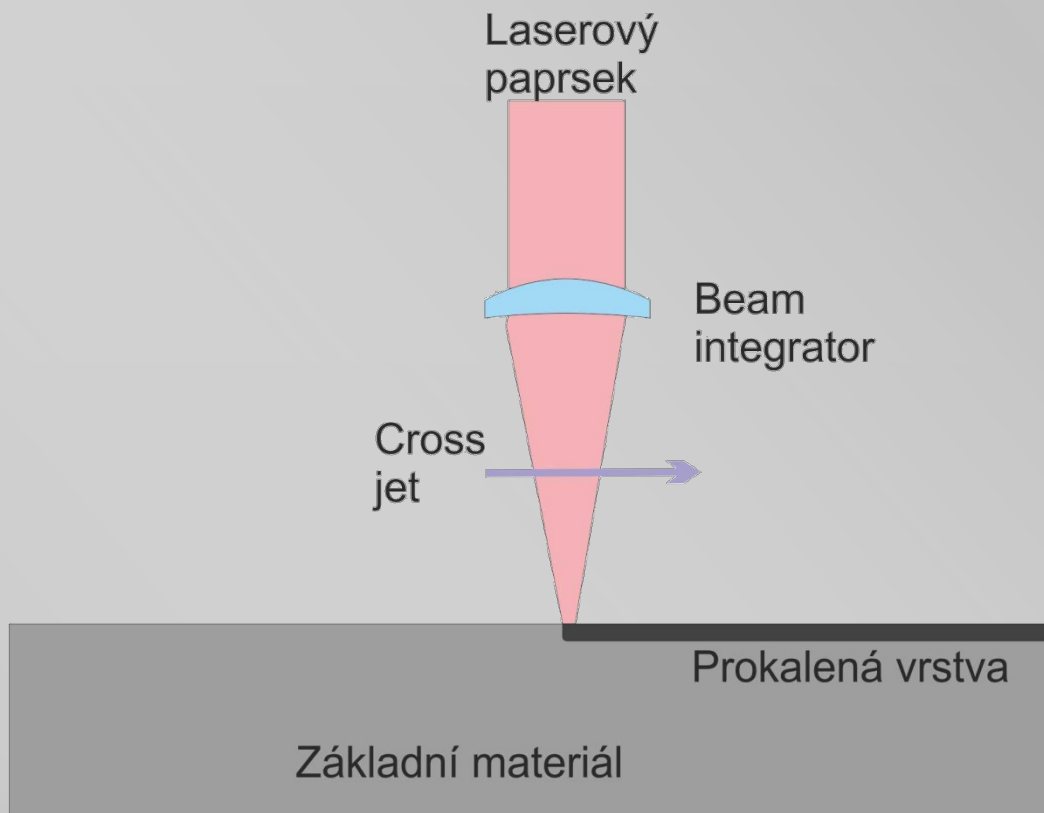
Hranatý profil



Beam integrator



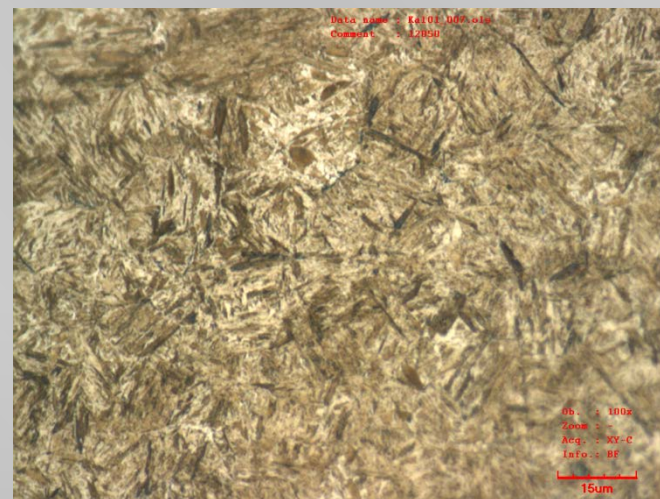
# Princip povrchového kalení



Zakalená stopa

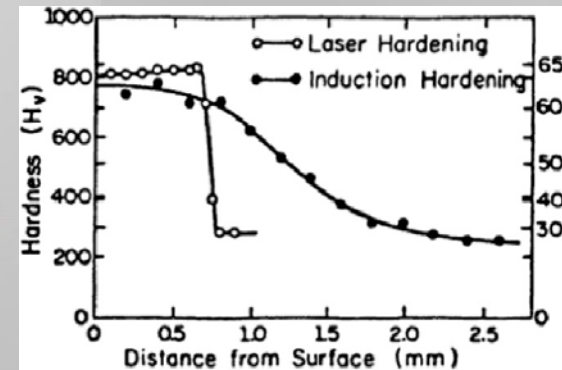
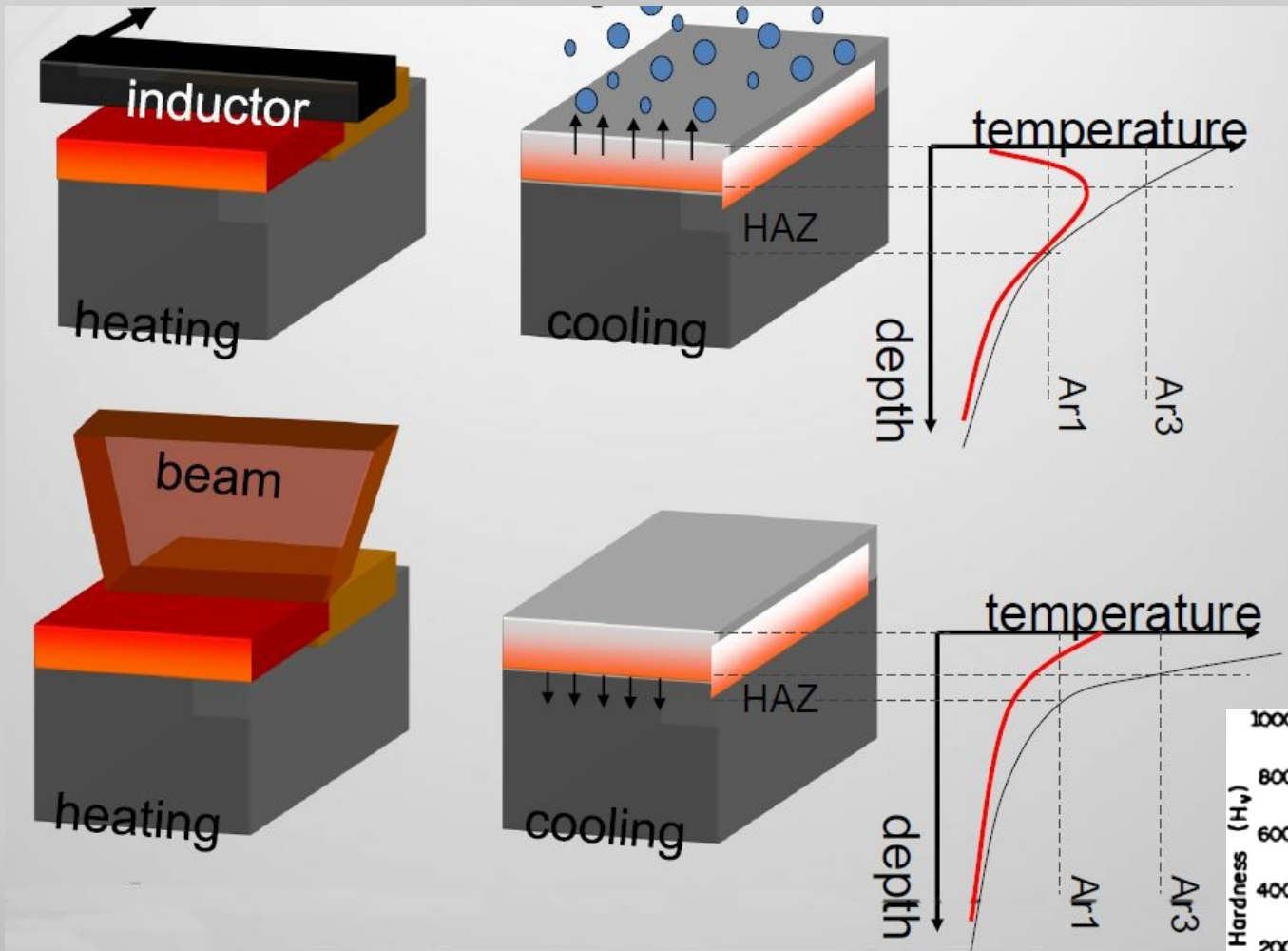


Mikrostruktura

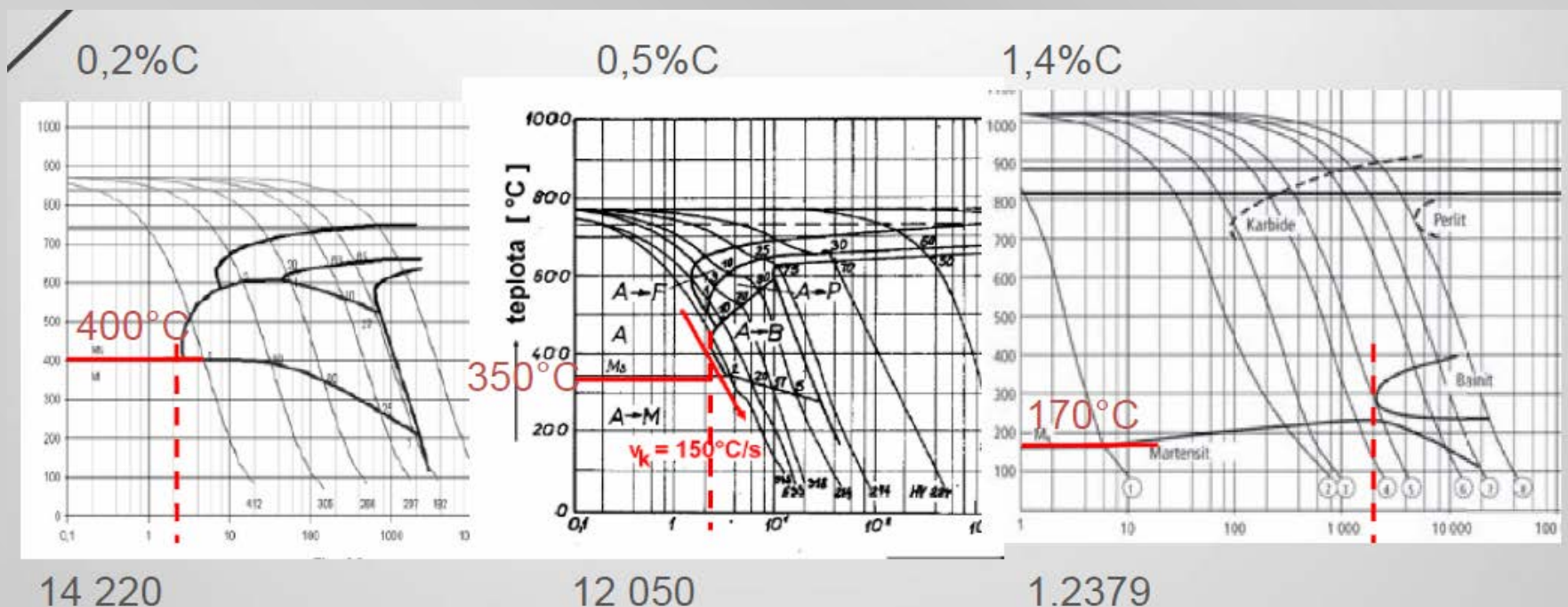


**Chlazení pouze odvodem tepla do materiálu**

# Rozdíl mezi kalení laserem a indukčním



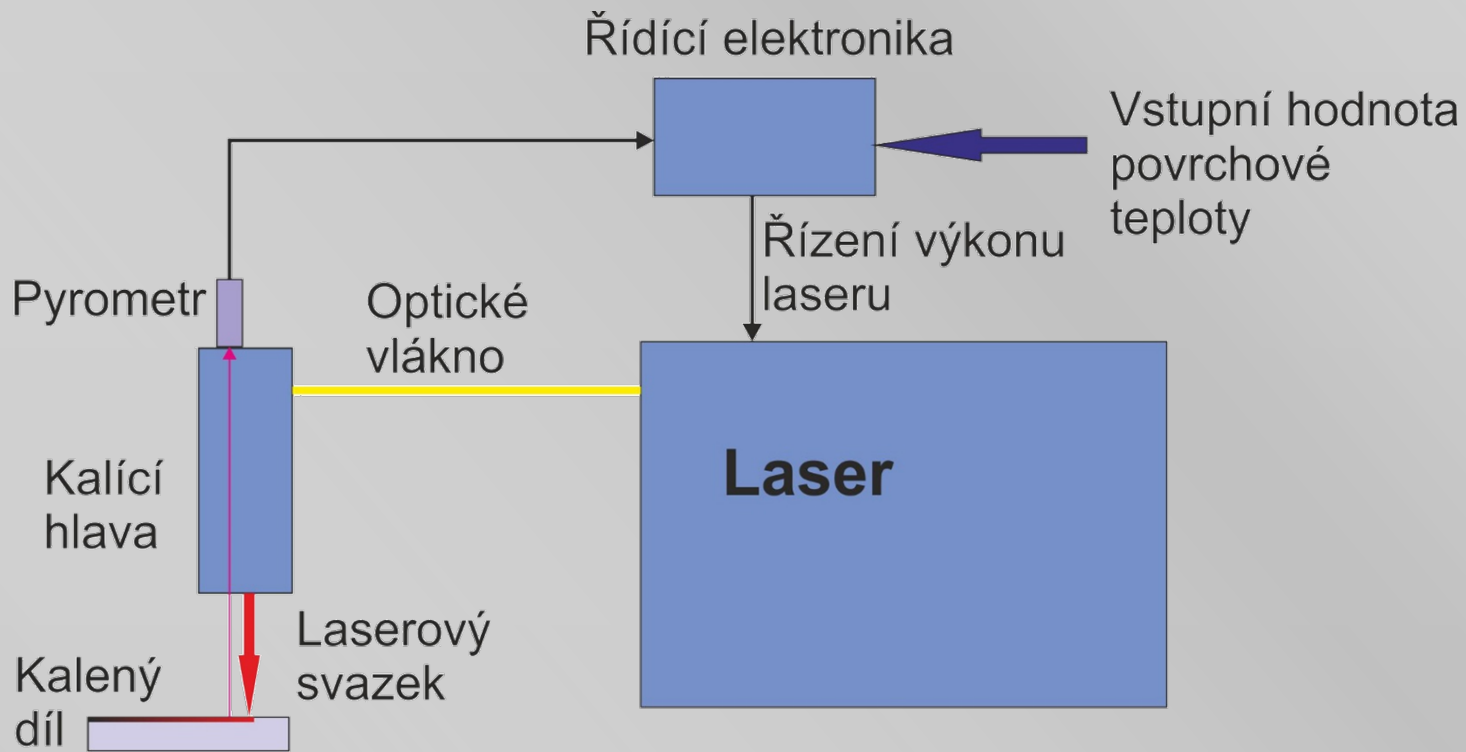
# Kalení v ARA diagramech



- Rychlost ochlazování u laserového kalení je až  $1000^\circ\text{C}$  !
- Výsledkem je velice jemnozrný martenzit s nízkým pnutím v zakalené vrstvě
- Výsledné vrstvy mají delší životnost z hlediska otěruvzornosti a praskání vrstev



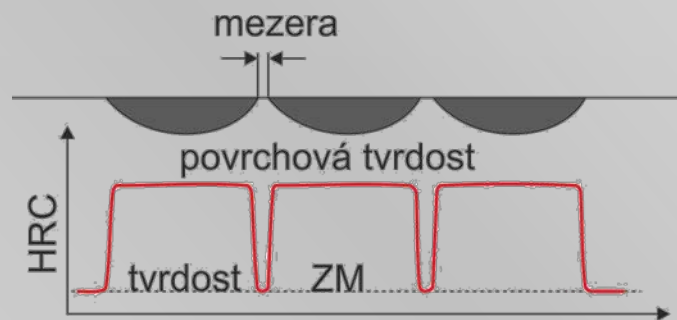
# Zpětnovazební řízení kalícího výkonu



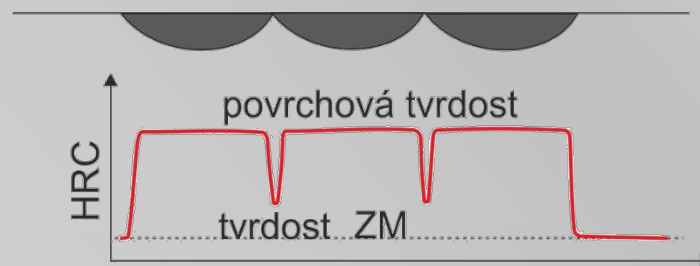
Lze kalit i složité strukturované díly (ozubená kola), hrany.

# Kalení plochy

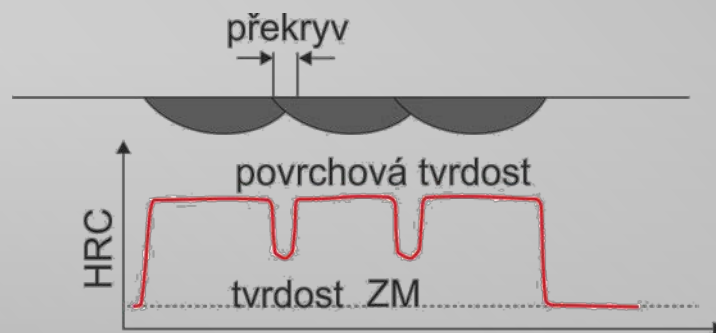
Stopy s mezerou



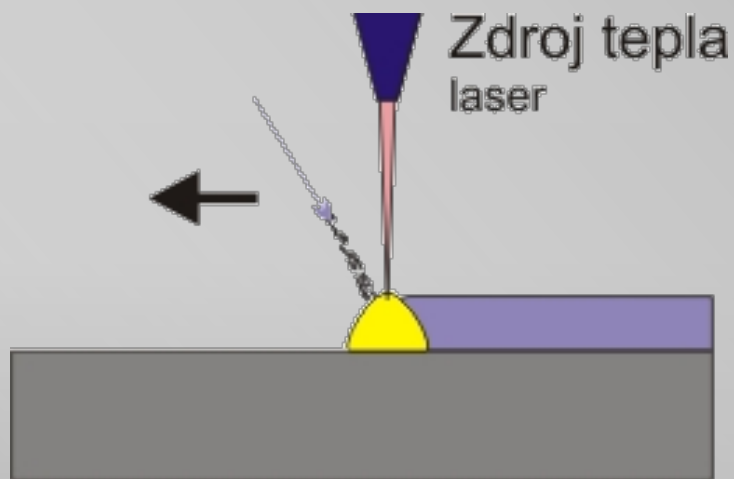
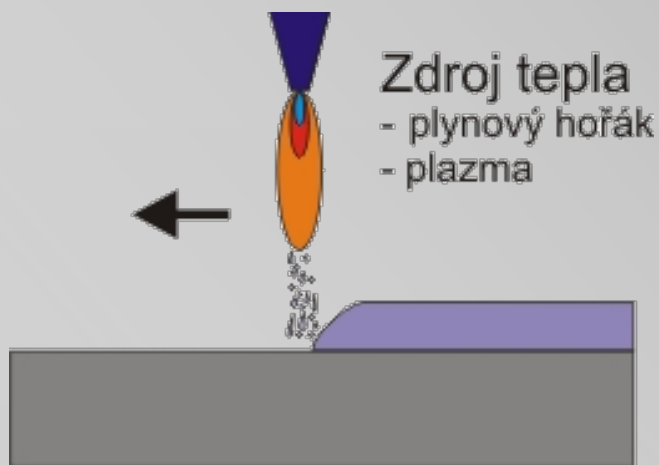
Stopy na dotyk



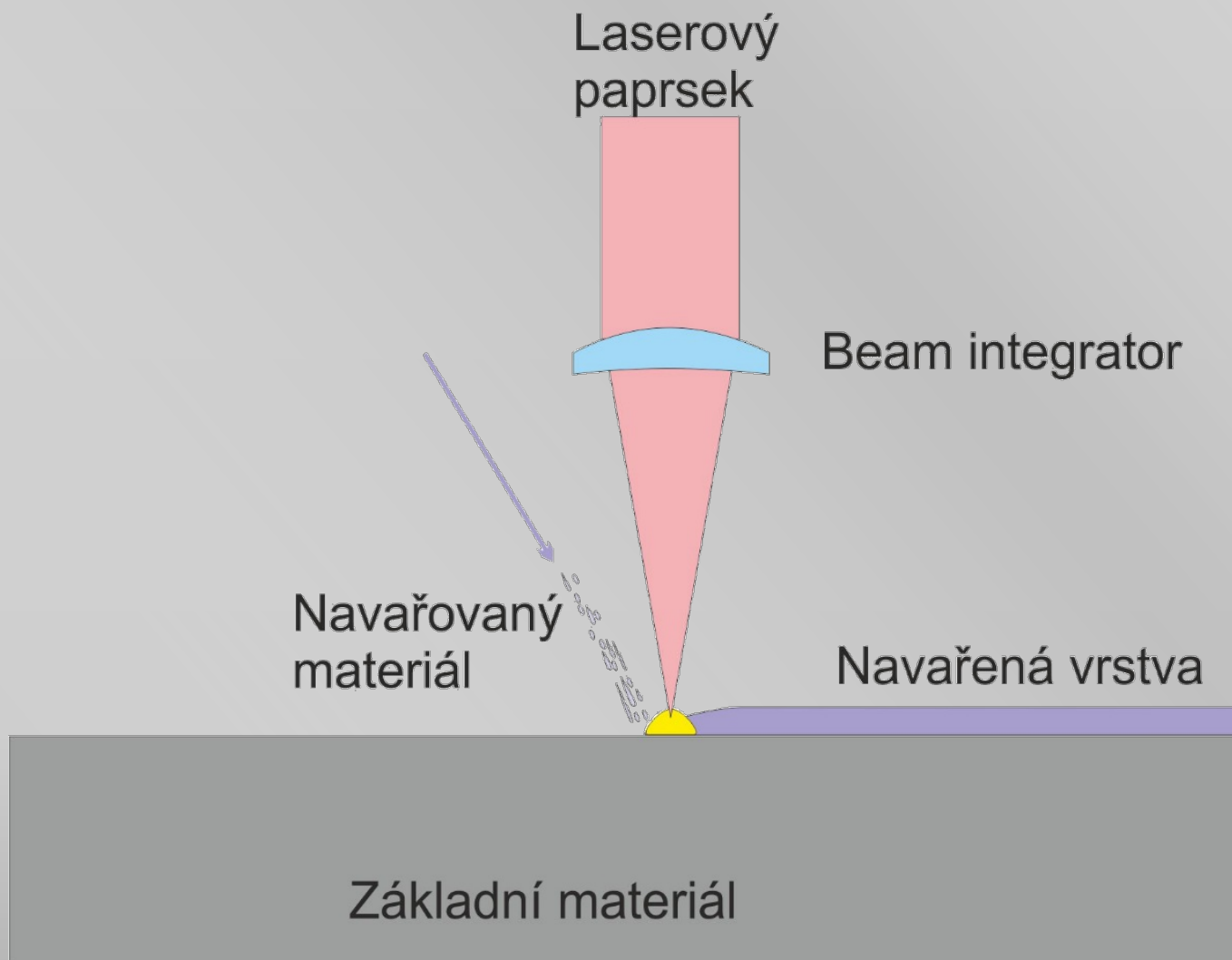
Stopy s překryvem



# Zdroje tepla při navařování



# Princip navařování laserem

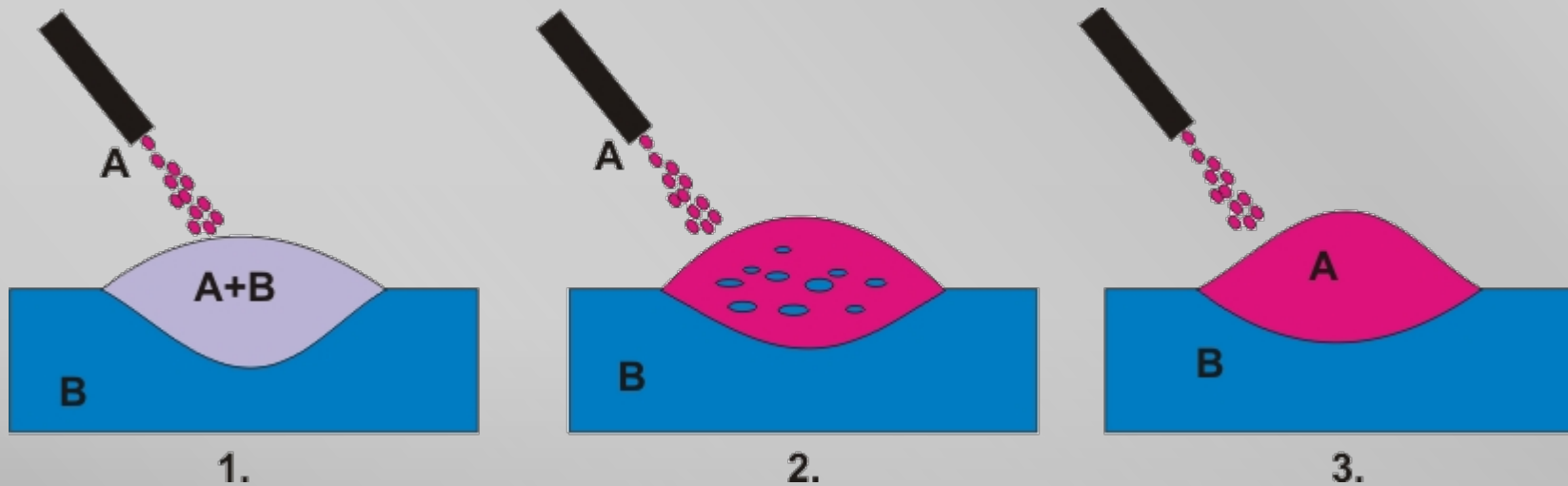


# Energetické poměry při navařování v závislosti na použitém laseru

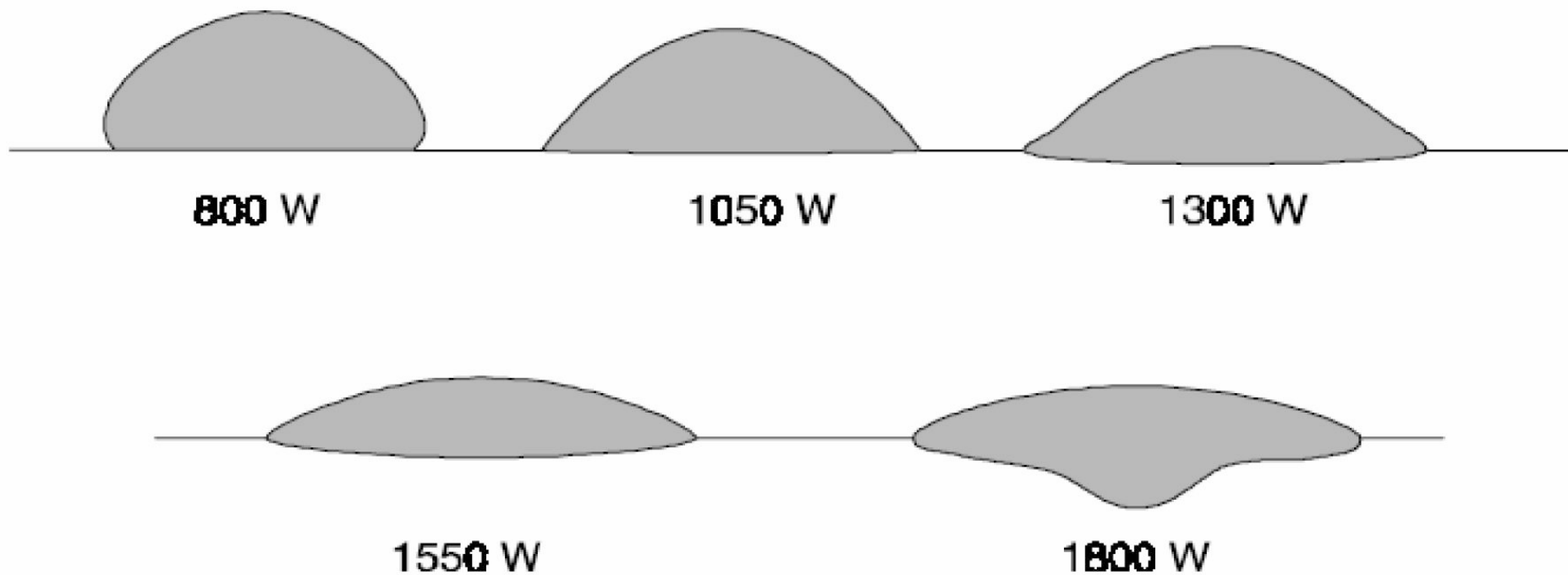
|   | CO <sub>2</sub> laser 10,6 μm | Pevnolátkový 1μm |
|---|-------------------------------|------------------|
| Energie odražená od nataveného povrchu        | 50%                           | 40%              |
| Energie odražená od části prášku              | 10%                           | 10%              |
| Ohřev povrchu substrátu                       | <b>30%</b>                    | <b>30%</b>       |
| Energie pro tavení prášku a povrchu substrátu | <b>10%</b>                    | <b>20%</b>       |

# Stupně navařování laserem

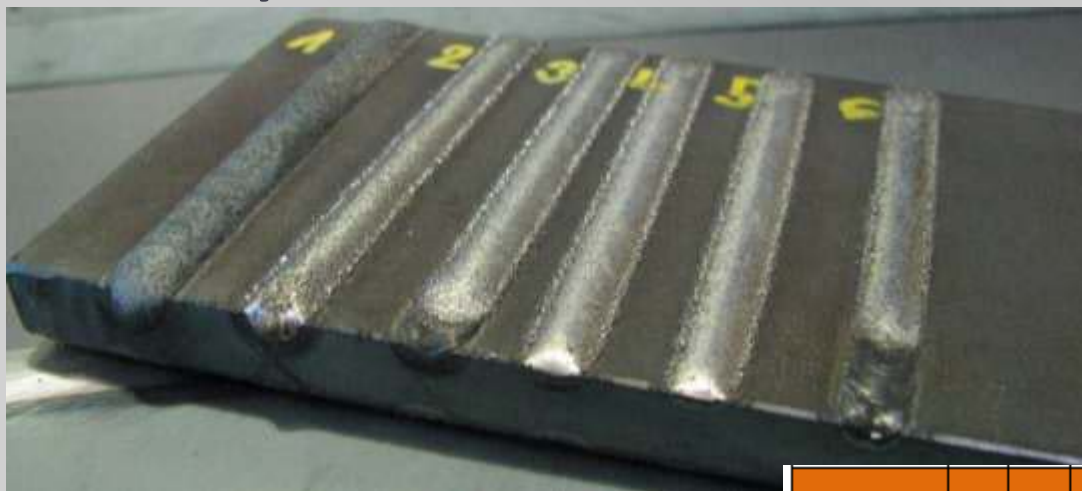
1. Laserové slévání (laser alloying)
2. Laserové glazování (laser glazing)
3. Laserové plátování (laser cladding)



# Geometrie návaru

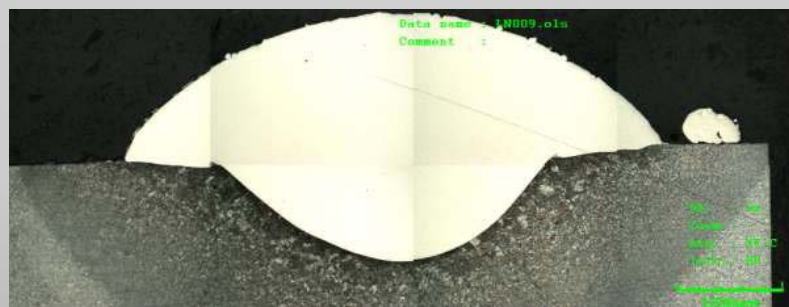


# Příklady navařování



Surfit 1560

| Prvky       | Fe   | C    | Si   | B    | Ni     | Cr    | Tvrđost HRC | Hustota [kg .m <sup>-3</sup> ] |
|-------------|------|------|------|------|--------|-------|-------------|--------------------------------|
| min [hm. %] | 2,40 | 0,65 | 3,90 | 3,00 | zbytek | 14,00 | 62          | 4400                           |
| max [hm. %] | 4,60 | 0,80 | 4,90 | 3,40 |        | 16,00 |             |                                |



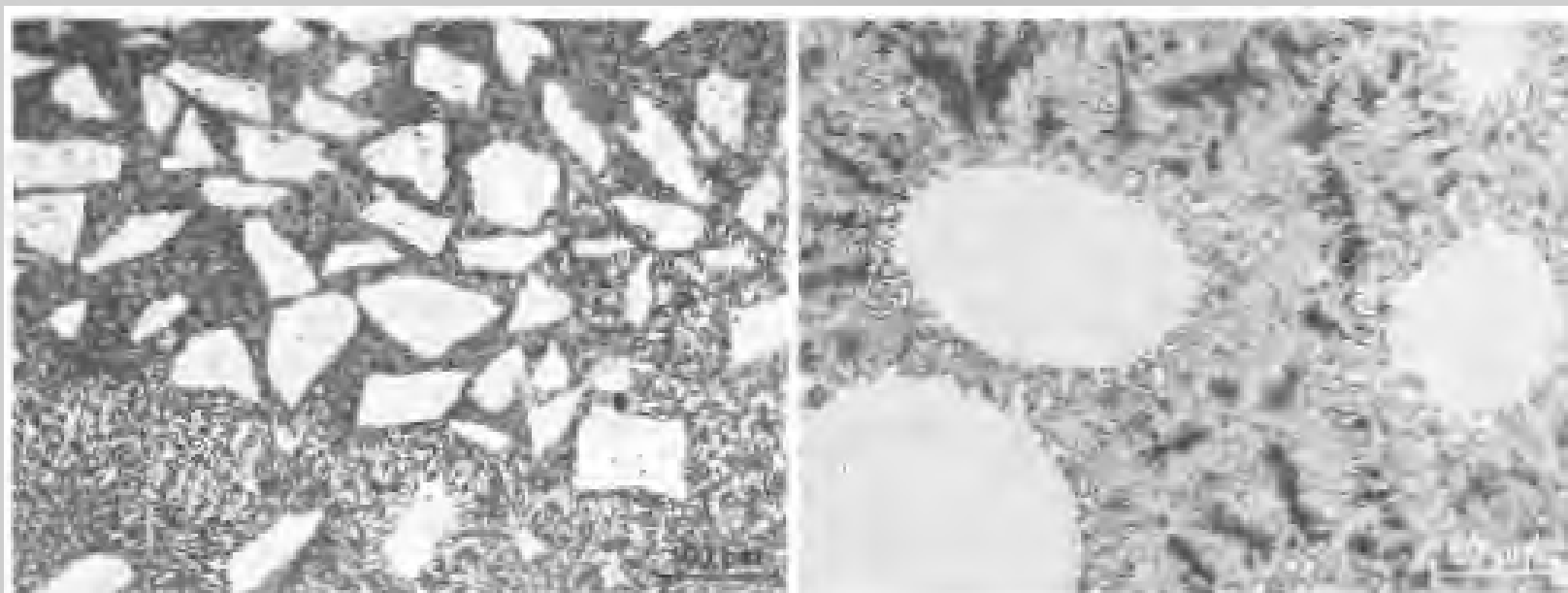
Špatně – zředění 32 %



Dobře - zředění 15 %



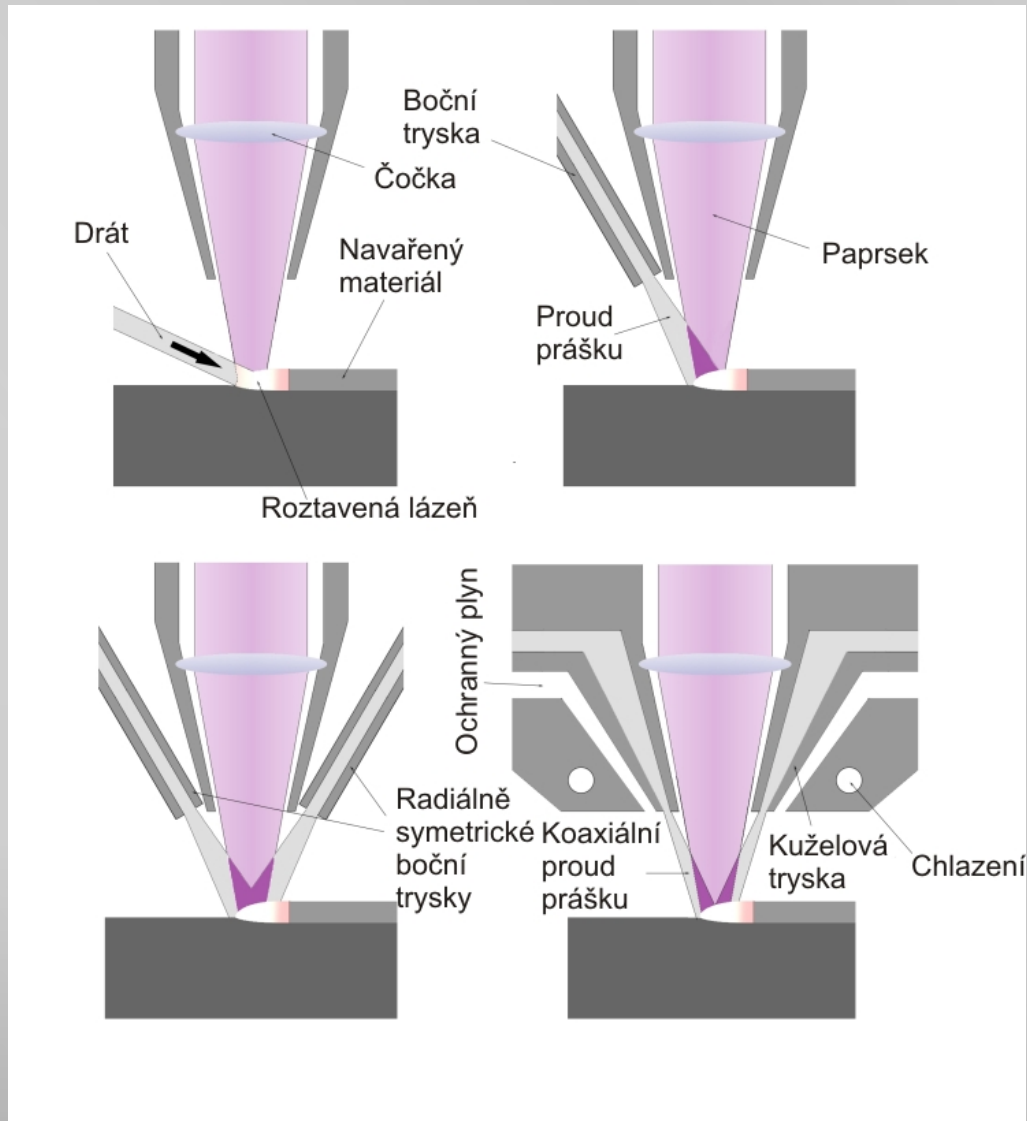
# Mikrostruktura – porovnání technologií (struktura s WC)



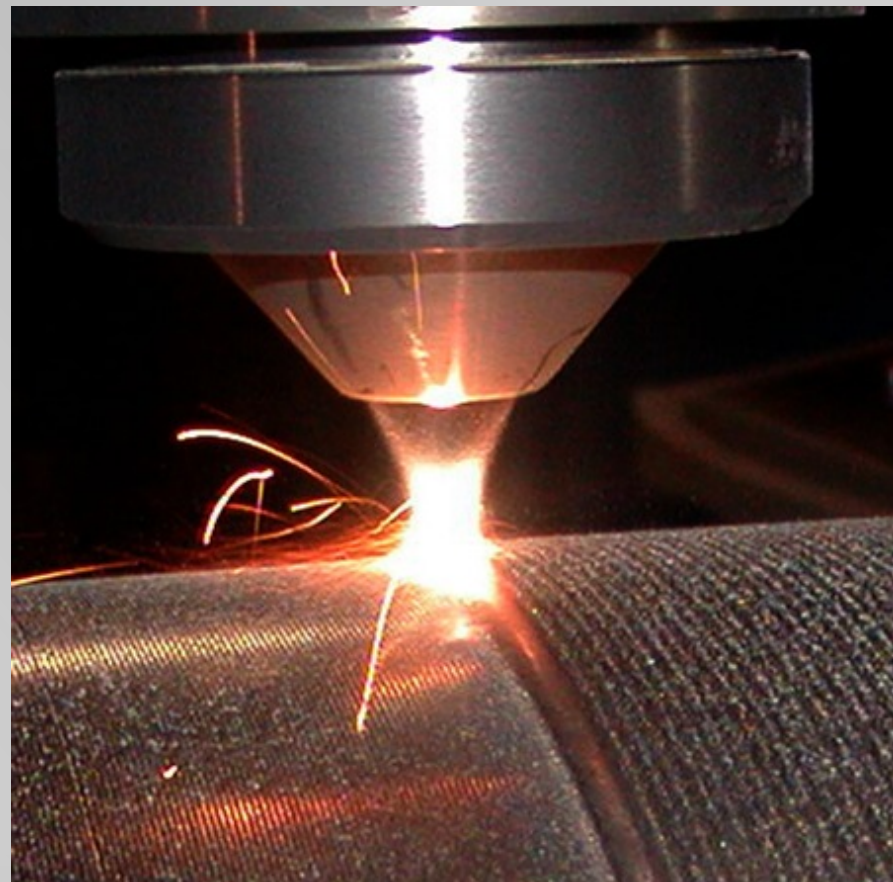
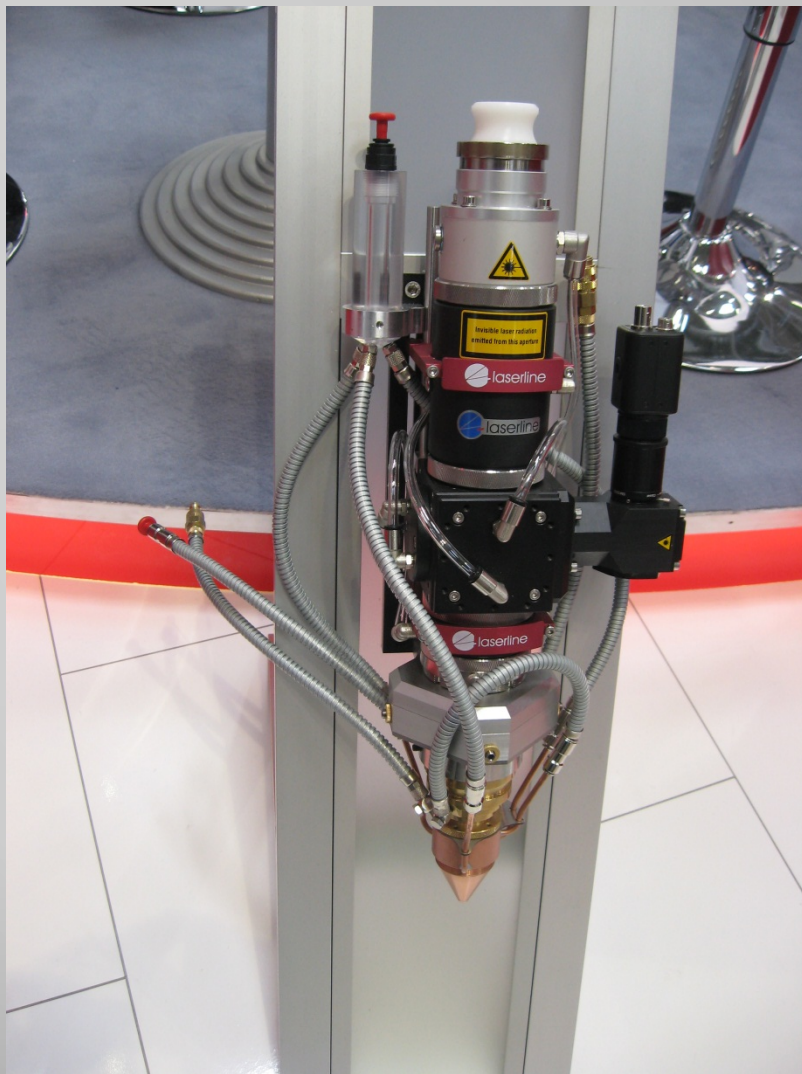
Laserové navařování

HVOF

# Doprava navařovaného materiálu



# Příklady laserových hlav





# Typy navařovaných materiálů

- Nerezové materiály - austenitické (malé promísení materiálu)
- Niklové prášky (základ je NiCrBSi), Inconel
- Kobaltové slitin (Stellite)
- Bronzové prášky



# Charakteristika procesu

## Pozitiva

- Nejlepší technika pro navařování vrstev,
- Lze vytvářet gradované struktury s různými vlastnostmi
- Vhodné pro navařování malých a tvarově složitých struktur
- Vhodné i pro vnitřní dutiny a špatně dostupná místa
- Nízké rozpouštění navařovaného materiálu v podkladu
- Nízká deformace podkladu a malá TOO
- Vysoká rychlost ochlazování – jemná mikrostruktura.
- Velká materiálová flexibilita – kovy, keramiky, polymery
- Výsledná vrstva bez defektů a trhlin
- Kompaktní technologie



# Charakteristika procesu

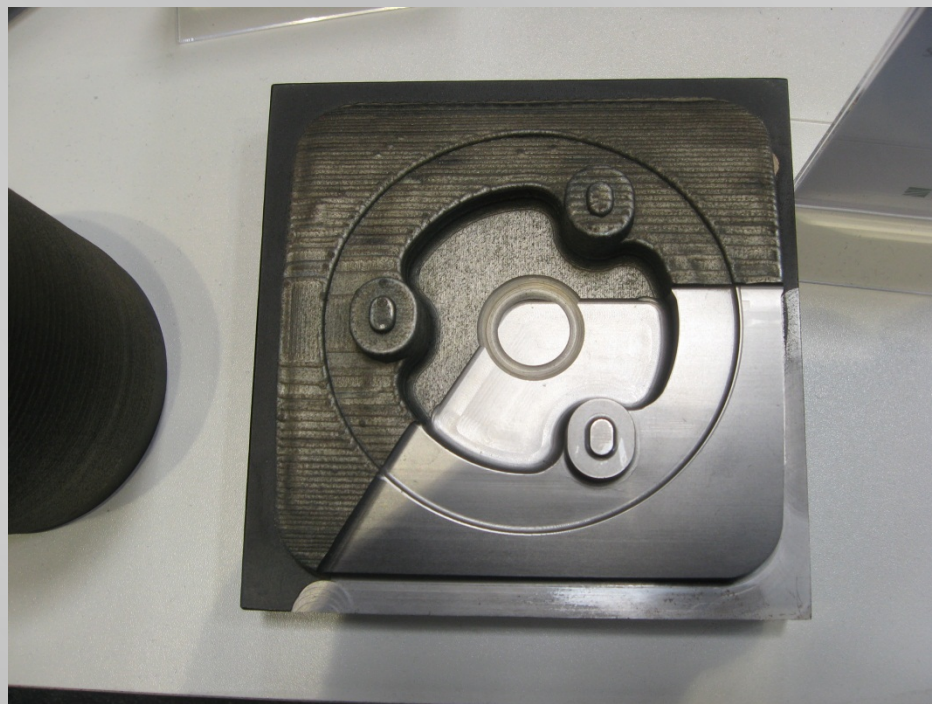
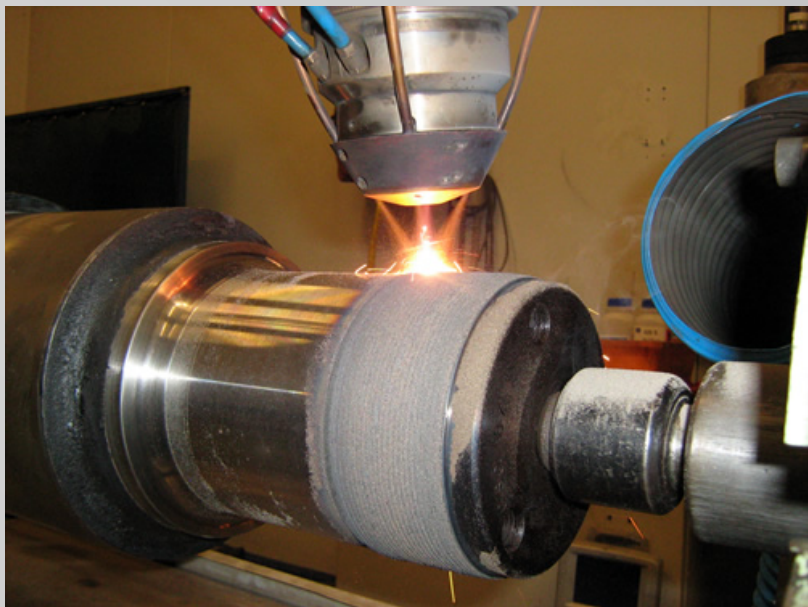
## Negativa

- Strojně a instrumentačně náročné
- Nutné strojní vedení
- Investičně velmi náročné

# Srovnání s ostatními metodami

| Vlastnost                  | Laserové navařování | Elektrický oblouk | Plazma + plamen            | PVD                          | CVD                          |
|----------------------------|---------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Adheze                     | vysoká              | vysoká            | střední                    | nízká                        | nízká                        |
| Rozpouštění                | vysoké              | vysoké            | nulové                     | nulové                       | nulové                       |
| Materiály                  | kov,<br>keramika    |                   | kov,<br>keramika           | kov,<br>keramika             | kov,<br>keramika             |
| Tloušťka                   | 50 $\mu$ m –<br>2mm | 1 – několik<br>mm | 50 $\mu$ m –<br>několik mm | 0,05 $\mu$ m –<br>20 $\mu$ m | 0,05 $\mu$ m –<br>10 $\mu$ m |
| Reprodukovatelnost proces. | střední –<br>vysoká | střední           | střední                    | vysoká                       | vysoká                       |
| TOO                        | malá                | vysoká            | vysoká                     | velmi malá                   | velmi malá                   |
| Ovladatelnost procesu      | střední –<br>vysoká | nízká             | střední                    | střední –<br>vysoká          | střední –<br>vysoká          |
| Cena                       | vysoká              | střední           | střední                    | vysoká                       | vysoká                       |

# Příklady aplikací

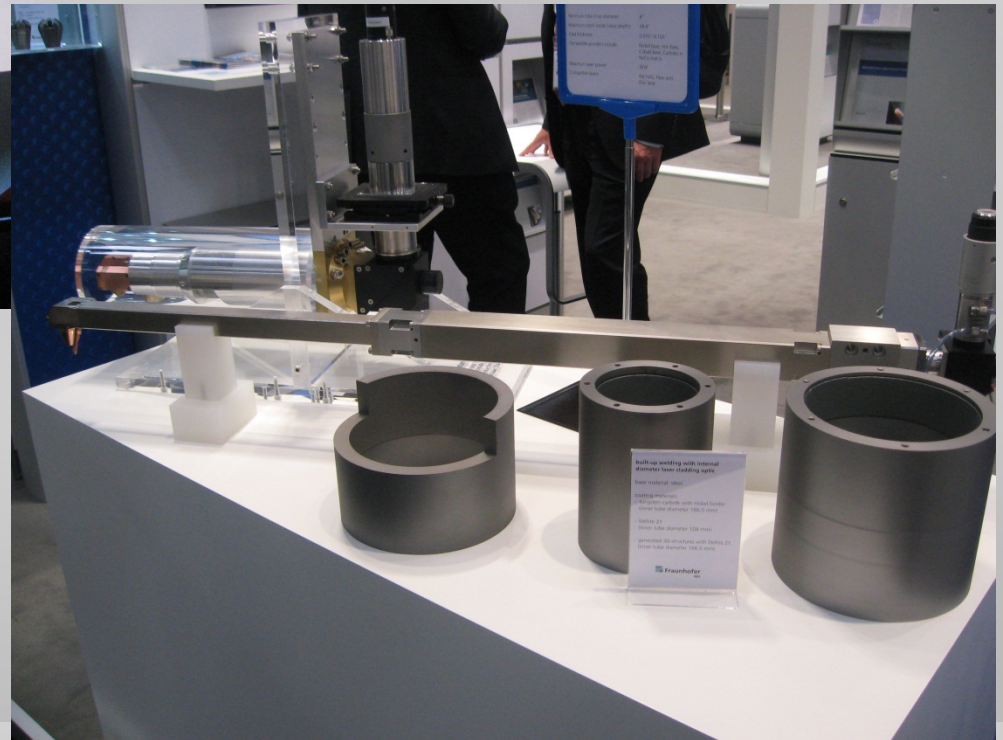
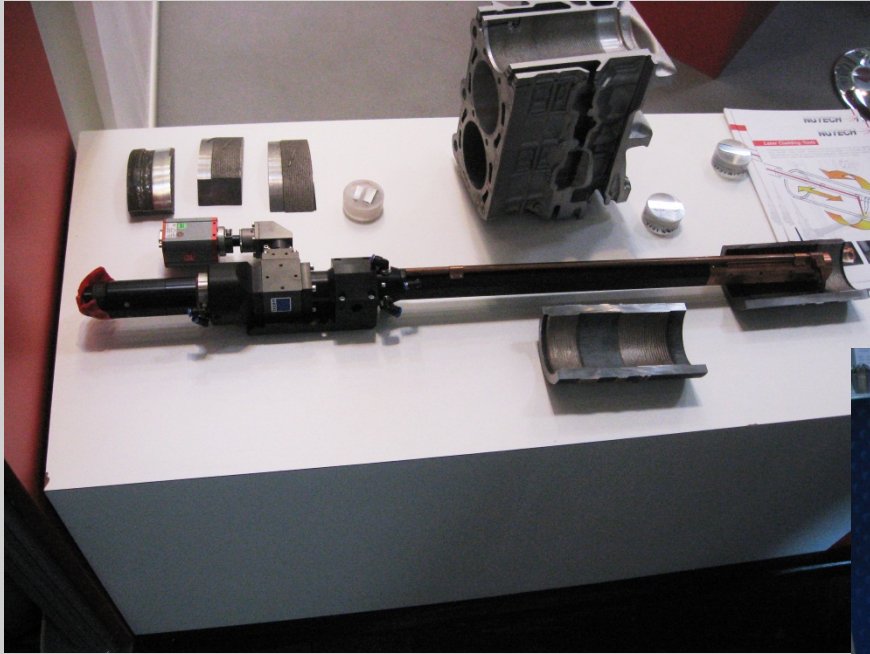




# Příklady aplikací



# Aplikační hlavy do válcových dutin



# Příklady aplikací

