

Povrchové kalení

Teorie tepelného zpracování

Katedra materiálu Strojní fakulty

Technická univerzita v Liberci

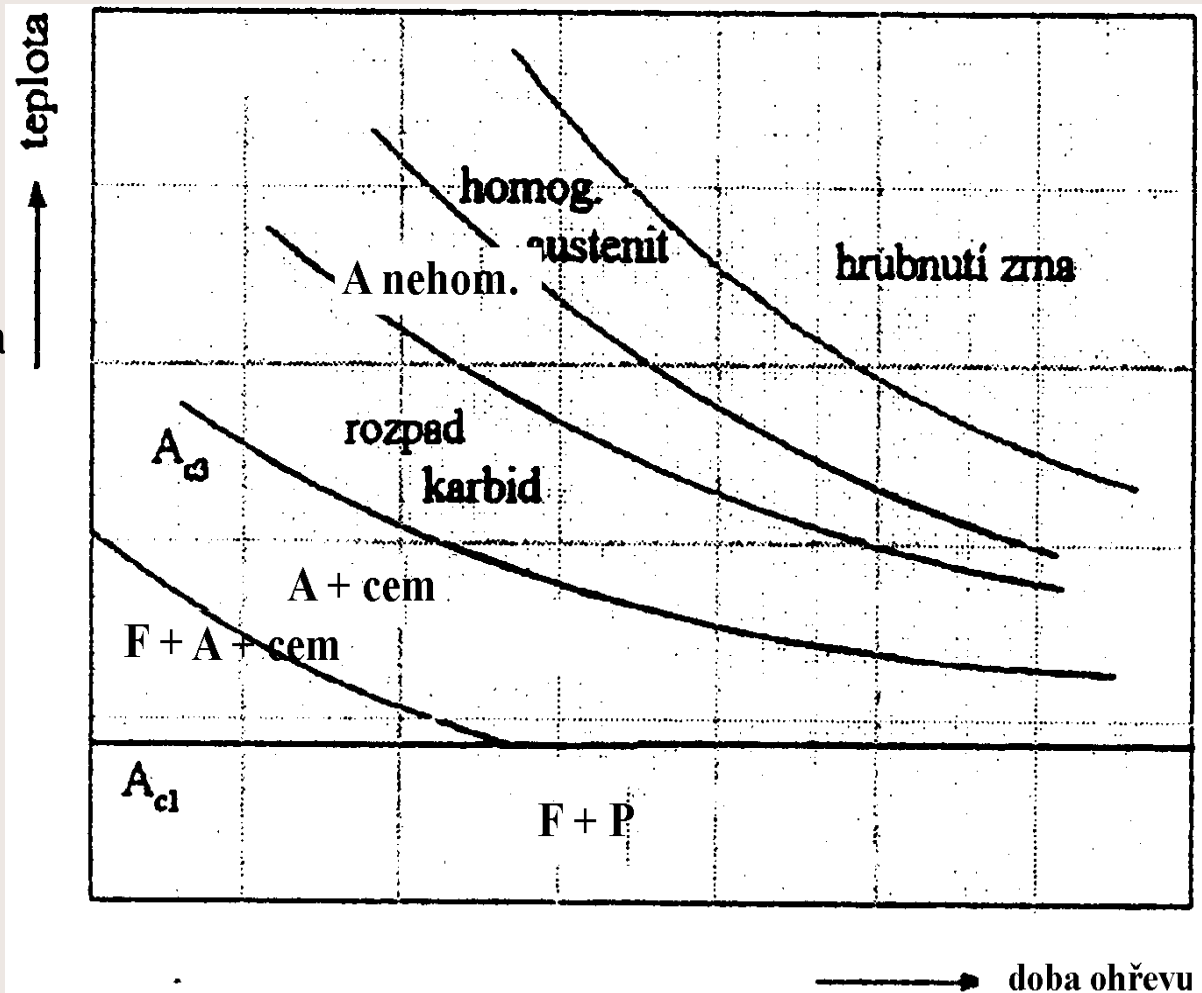
© Doc. Ing. Karel Dad'ourek, 2007

Vlastnosti rychlých ohřevů

- Ohřívá se jen povrchová vrstva
- Ohřev je omezen jen na část povrchu
- Zvyšují se teploty fázových přeměn
- Nemůže proběhnout homogenizace materiálu

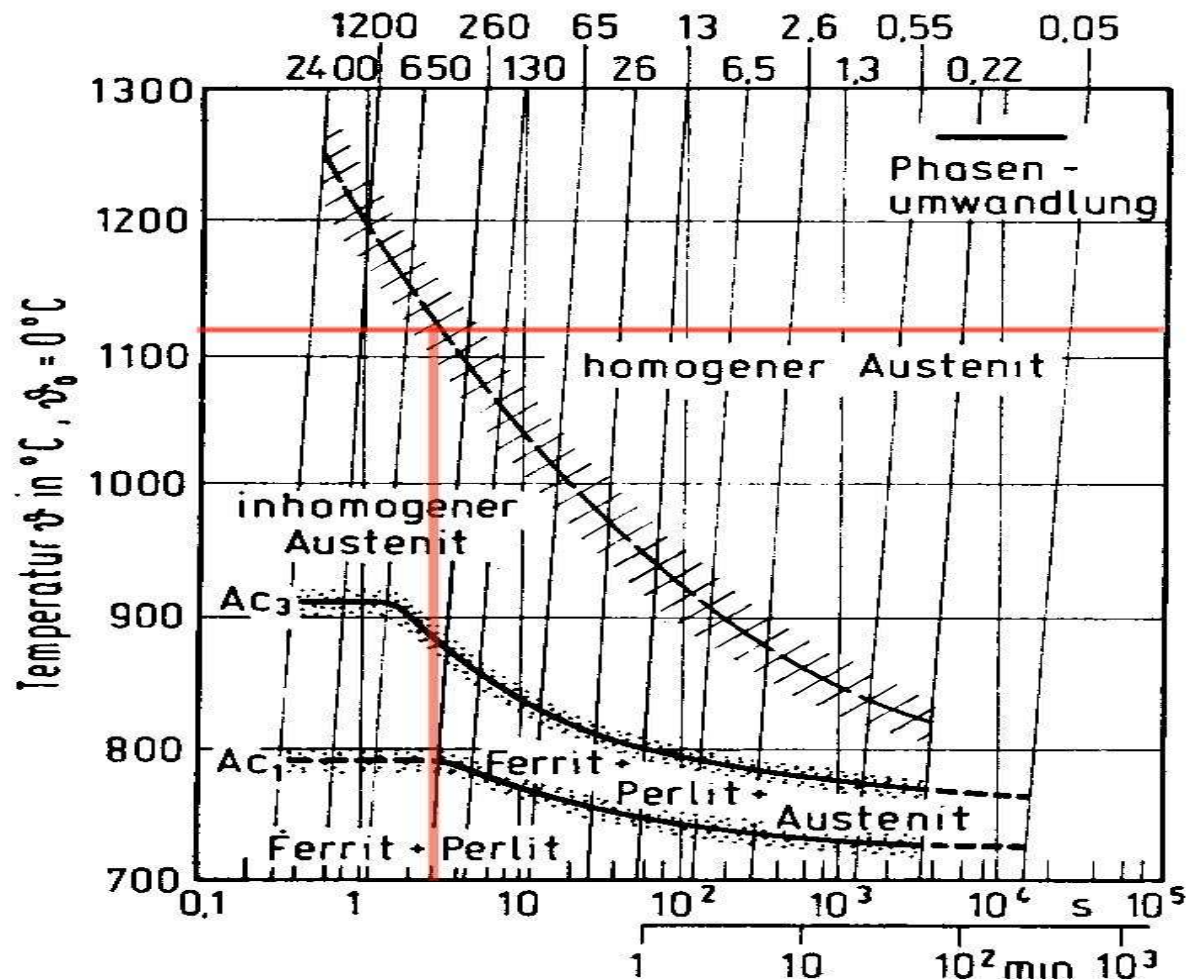
Schema průběhu austenitizace

- Při rychlém ohřevu není zpravidla čas na homogenizaci austenitu
- Ve většině případů se nerozpadnou ani všechny karbidy



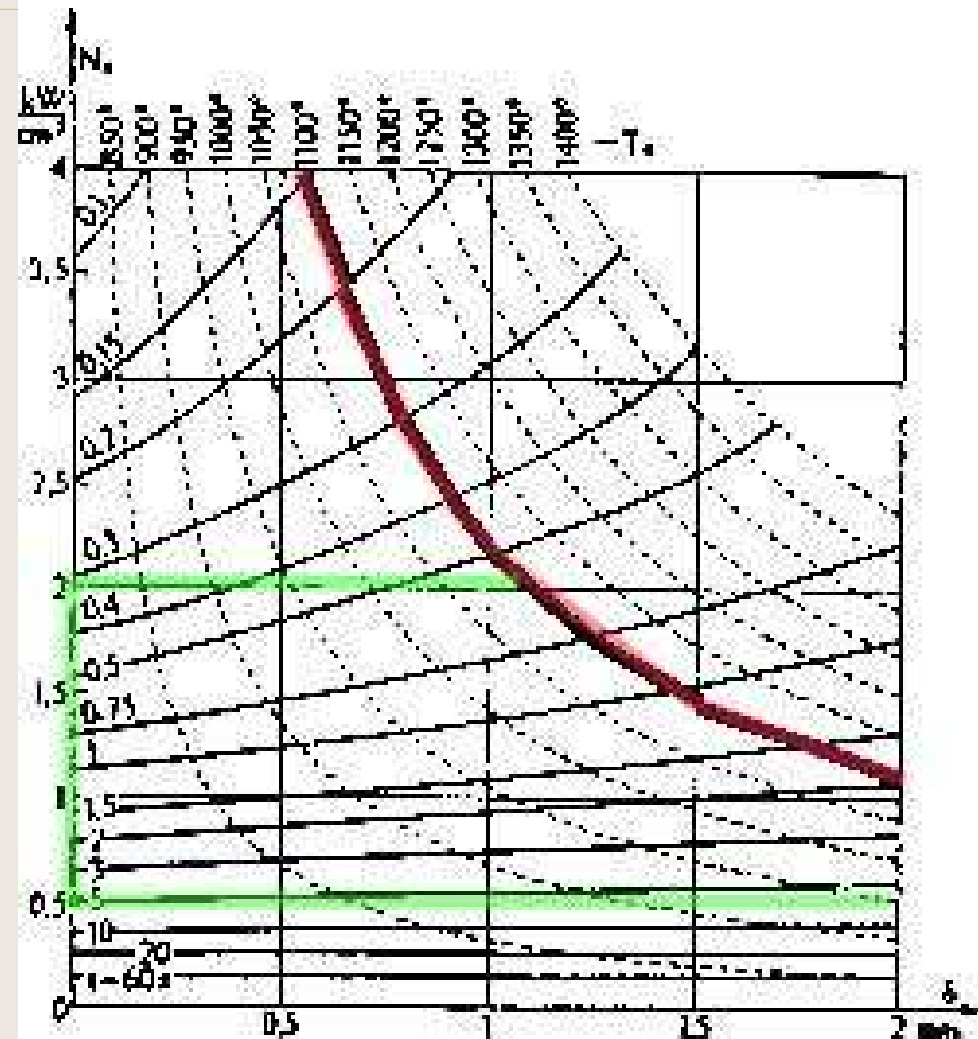
Austenitizace při rychlém ohřevu

Diagram
pro
feriticko -
perlitickou
ocel.
Červeně
naznačena
maximální
přípustná
teplota a
maximální
čas
rychlého
ohřevu



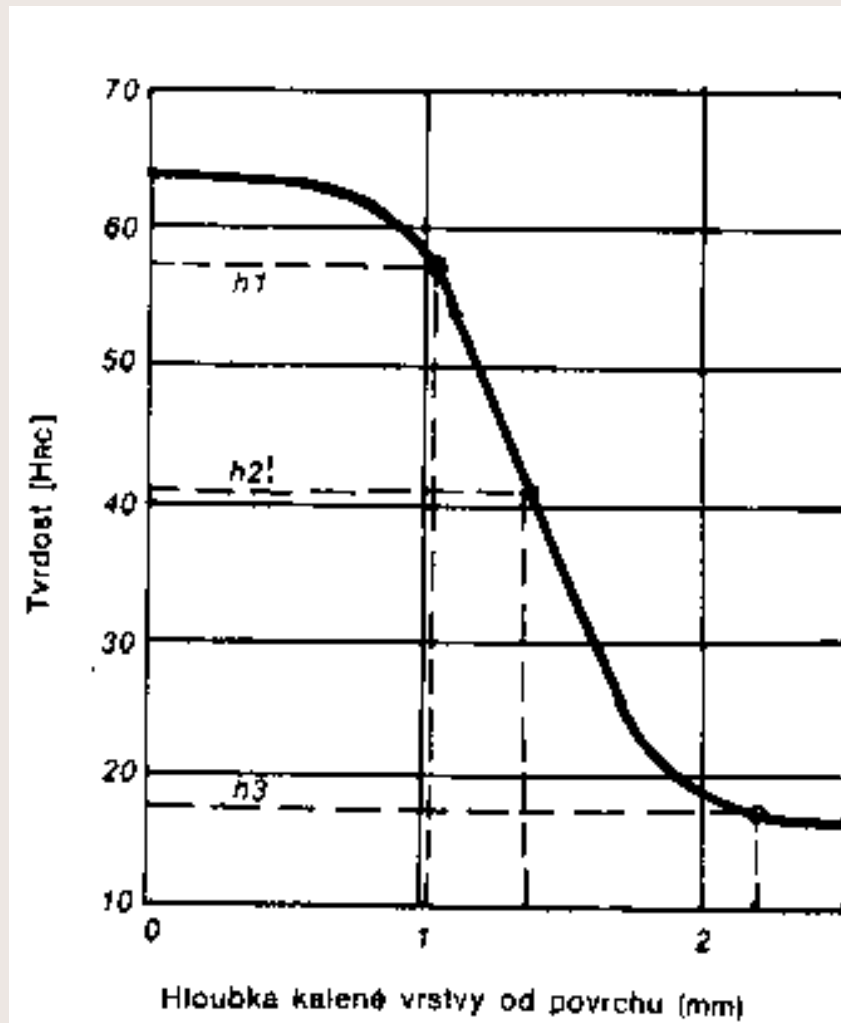
Vztahy pro hloubku kalení

- Vodorovně – hloubka zakalení
- Svisle – výkon zdroje ohřevu
- Čárkované čáry – teplota povrchu
- Plné čáry – doba ohřevu
- Červeně – maximální teplota
- Zeleně – oblast nejčastějších ohřevů (0,5 až 2 kW / cm²)



Průběh tvrdosti zakalené vrstvy

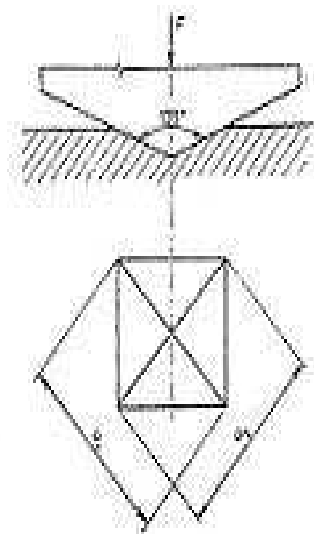
- Hloubka zakalení je dána rychlostí ohřevu
- Do jádra tvrdost pomalu klesá
- Hloubka nemůže přesáhnout hloubku prokalitelnosti



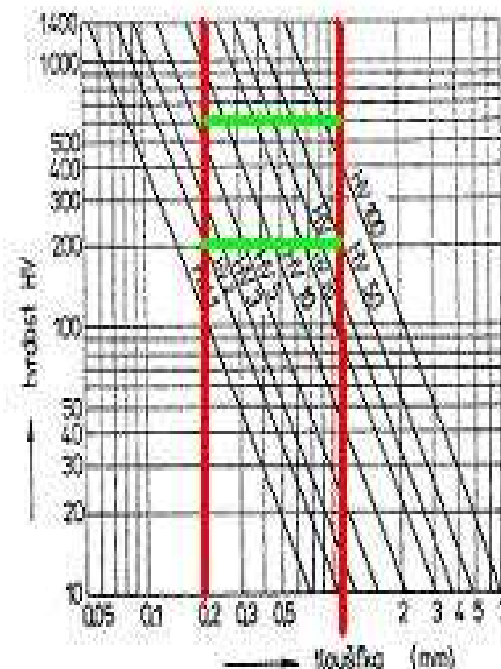
Určování tvrdosti

Je nutné volit
zátěž podle
hloubky vrstvy

- Hloubka vtisku
musí být pod 1/10
tloušťky zakalené
vrstvy
- Nejlepší je tvrdost
podle Vickerse
HV1 až HV20,
tedy zatížení 10 až
200 N
- Přesnější je
mikrotvrdost v
příčném řezu



Zkouška tvrdosti podle Vickerse



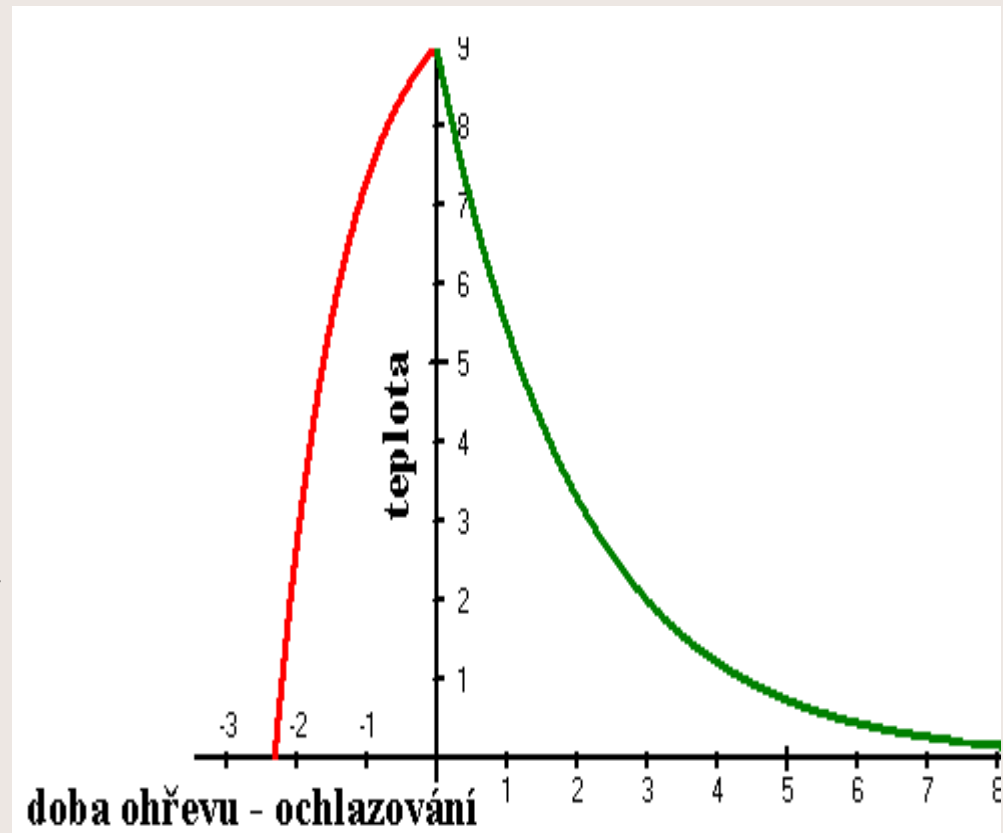
Určení zatížení v Vickersovy zkoušky
tvrdosti pro danou tloušťku a tvrdost materiálu

Vliv různé struktury povrchu a jádra

- Protože má martenzit větší objem než ferit, je v povrchové zakalené vrstvě vždy tlakové vnitřní napětí, které může dosahovat 50 až 60 MPa.
- Toto napětí způsobuje značný vzrůst únavové pevnosti, protože brání vzniku trhlin při tahovém namáhání povrchu.
- V křehkém materiálu (litině) může toto napětí lehce vyvolat vznik povrchových trhlin – malá pevnost grafitu.

Samozakalení materiálu

- Vzniká spád teploty v materiálu, který způsobí, že materiál sám ochladne stejně rychle jako se ohřál
- V mnoha případech to stačí k zakalení
- Předpokladem je malá hloubka kalení ve srovnání s rozměry
- Ohřev musí být dostatečně rychlý



Metody povrchového kalení

- **Kalení plamenem** – nejstarší, přibližně konstantní rychlost ohřevu, není přesně lokalizováno
- **Kalení indukční** – nejužívanější, rychlost ohřevu se prudce mění, možnost i větší hloubky ohřevu
- **Kalení energetickými svazky** (laser, elektronový paprsek, plasma) – nejmodernější, nejrychlejší, přísně lokalizovaný, rychlost může být řízena počítačem

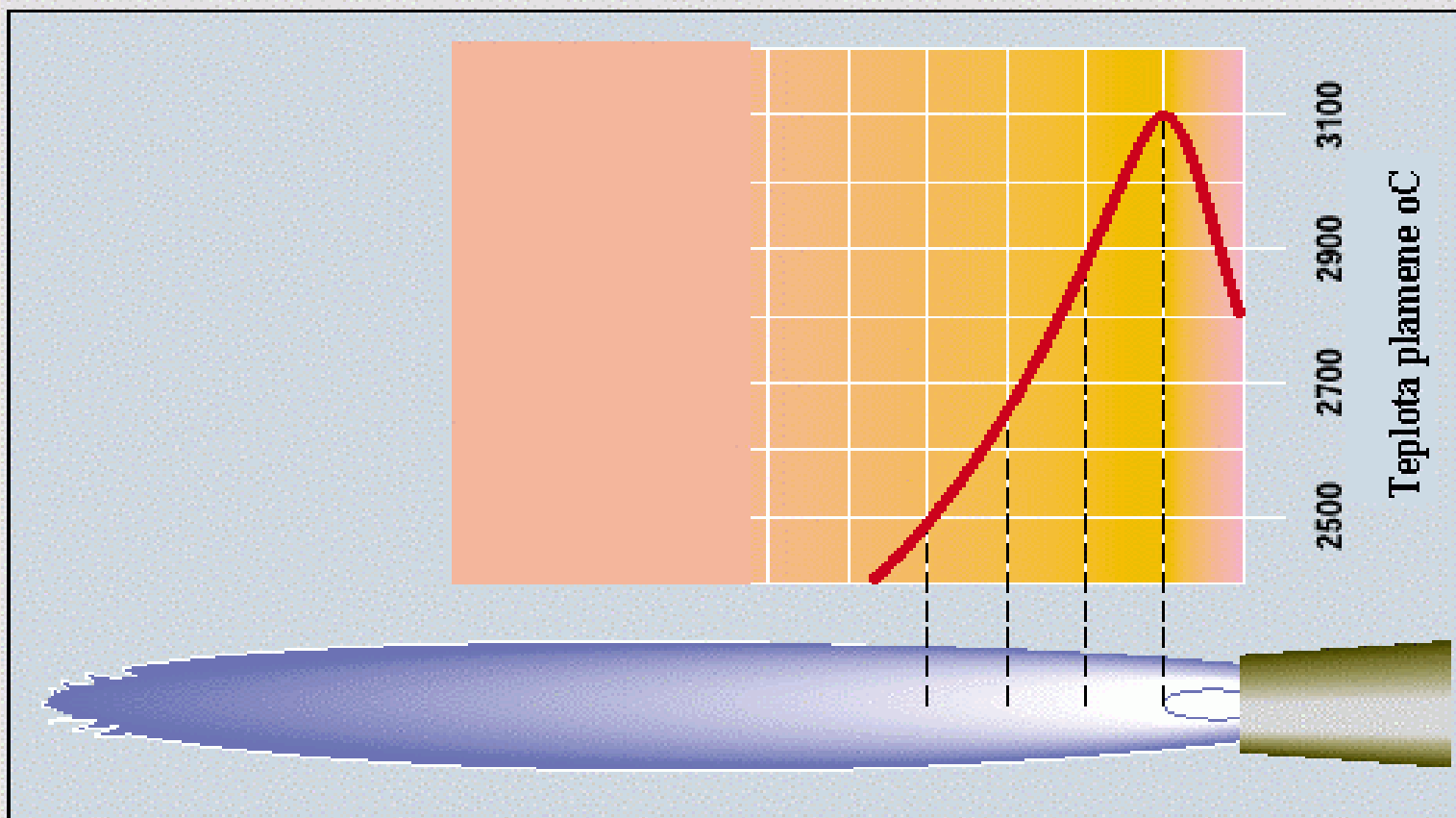
Různé teploty plamene

Počínající žhnutí s temně rudým žářem	od 400 °C
Volně hořící cigareta	cca 400 °C
Cigareta při nasátí vzduchu	cca 700 °C
Plamen zápalky	650 až 850 °C
Plamen svíčky	800 až 1000 °C
Hořící uhlí	700 až 1500 °C
Lihový plamen	1600 až 1700 °C
Plynový hořák	1700 až 1975 °C
Plamen PB-kyslík	cca 2400 °C
Plamen vodík-kyslík	cca 2600 °C
Plamen acetylén-kyslík	cca 3200 °C

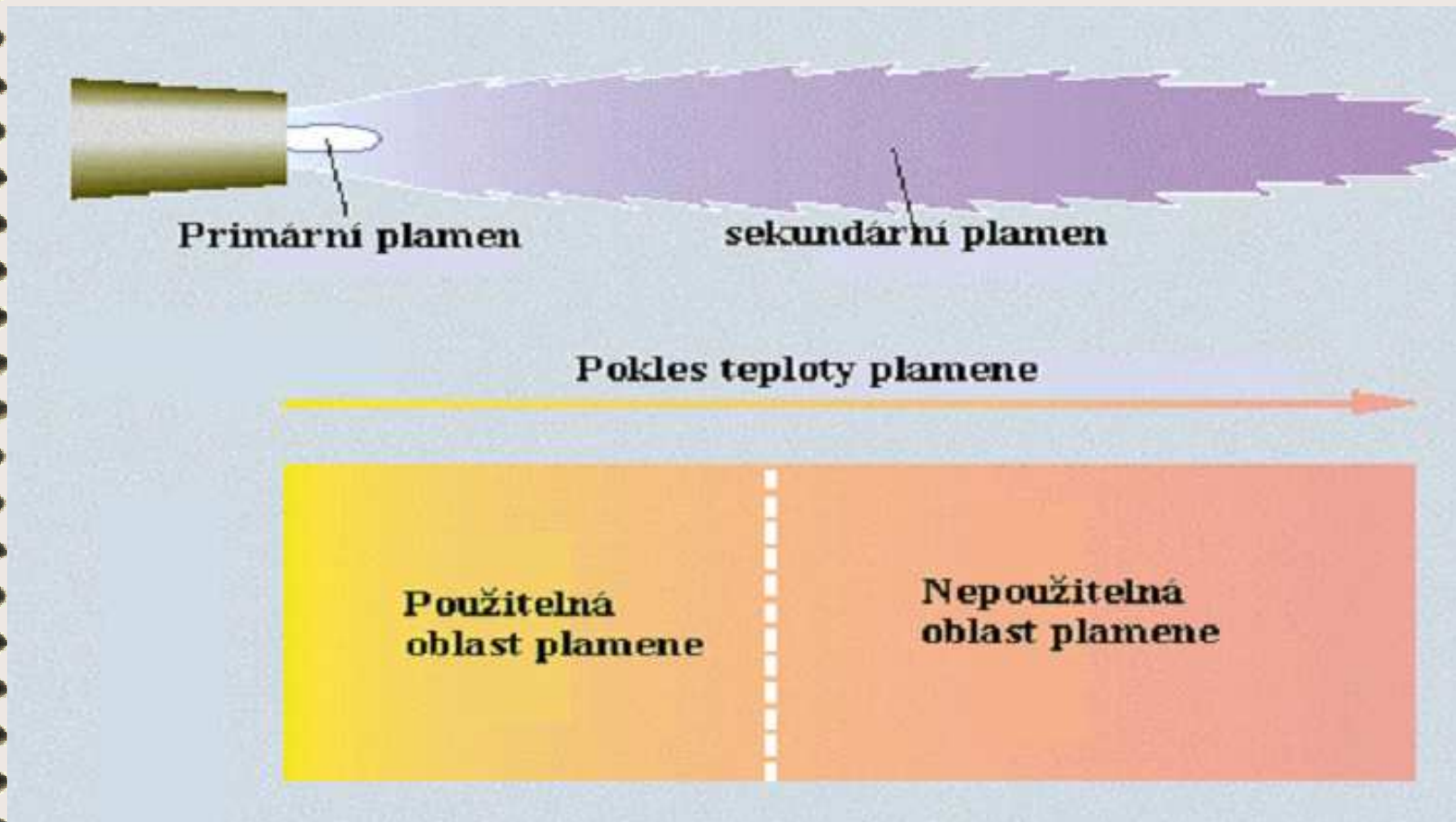
Acetylen – ideální plyn

- Nejvyšší teplota plamene
- Nejvyšší rychlost hoření
- Nejvyšší výkon plamene
- Nejkratší doba ohřevu
- Nejnižší spotřeba kyslíku
- Je lehčí než vzduch
(91 % hustoty vzduchu)

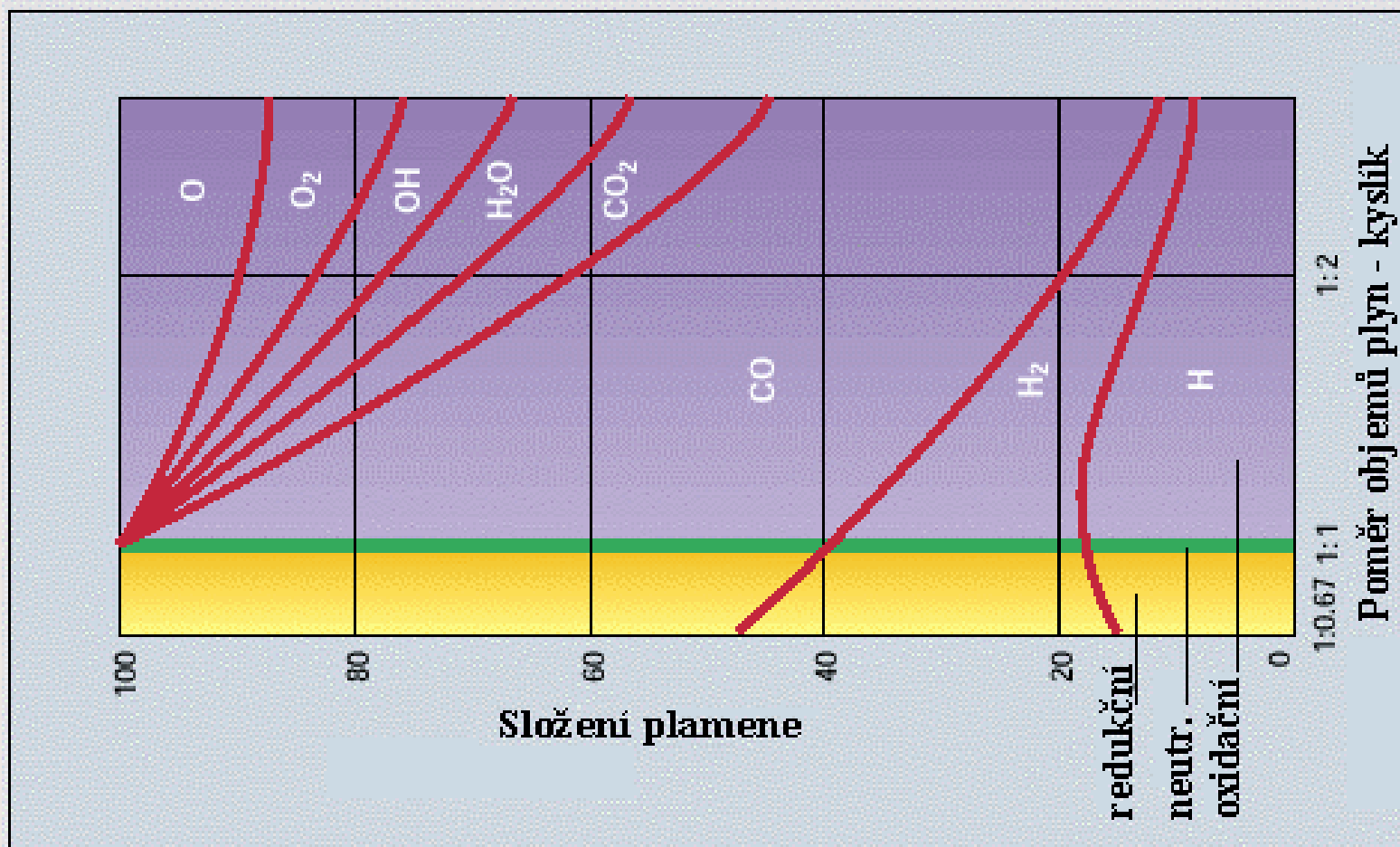
Rozložení teplot v plameni



Použitelné oblasti plamene



Složení plamene acetylen - kyslík

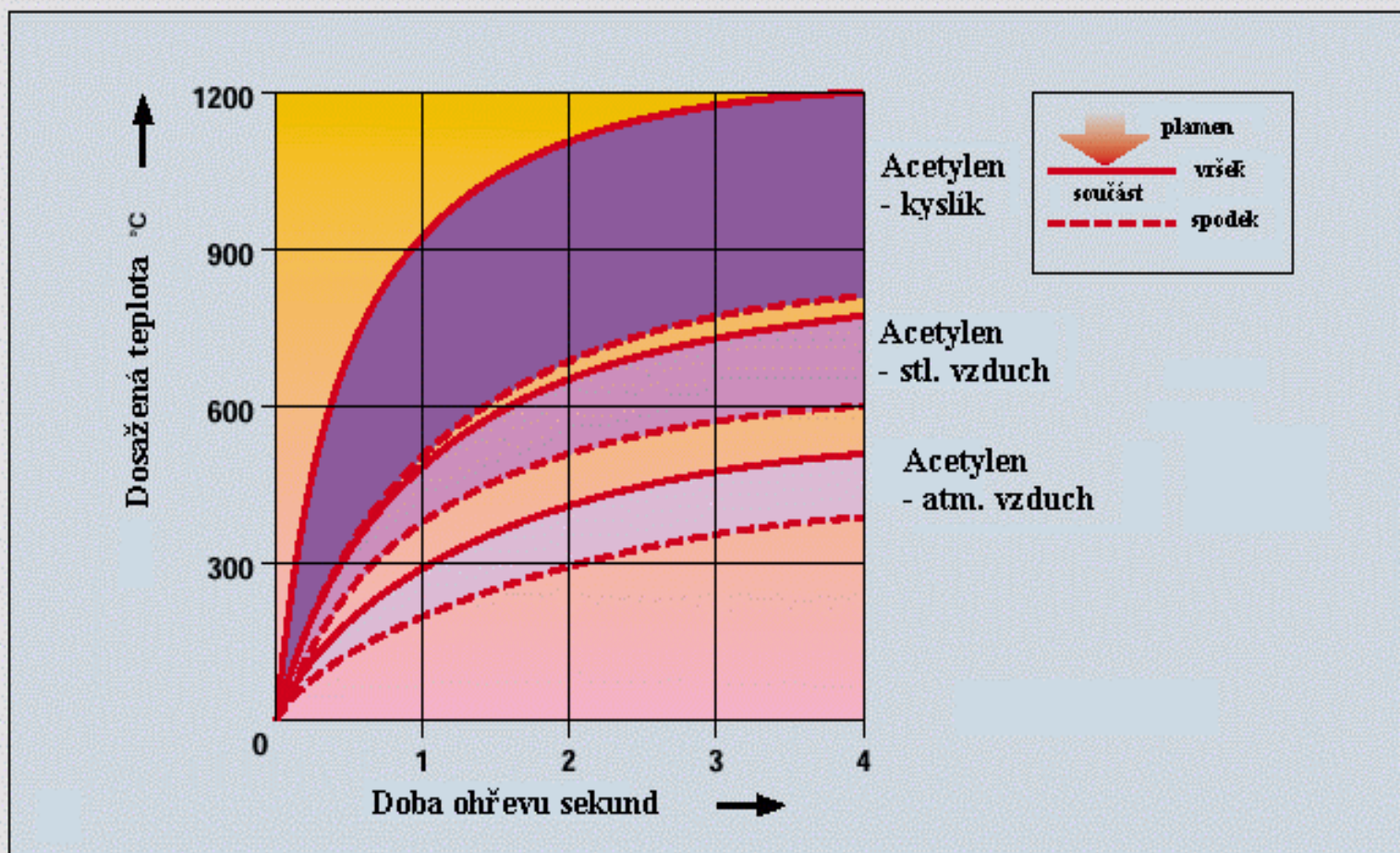


Vzhled acetylenového plamene

- Vlevo – redukční plamen
- Uprostřed – neutrální plamen
- Vpravo – oxidační plamen

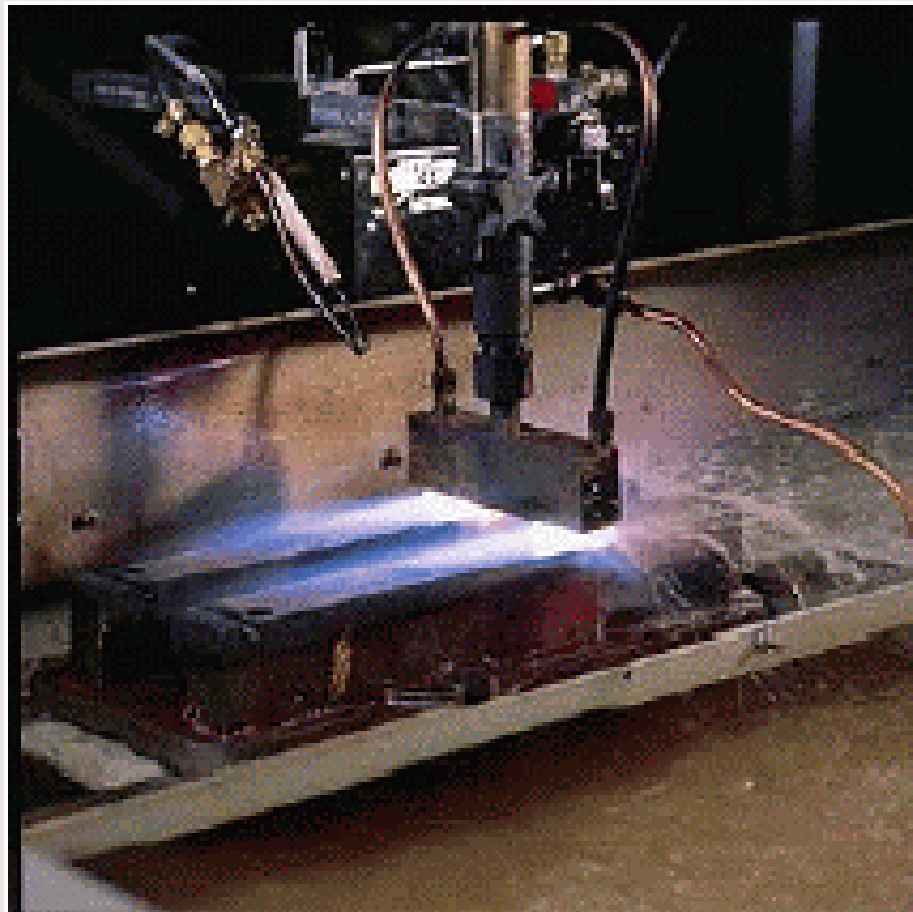


Dosahované rychlosti ohřevu acetylenový plamen



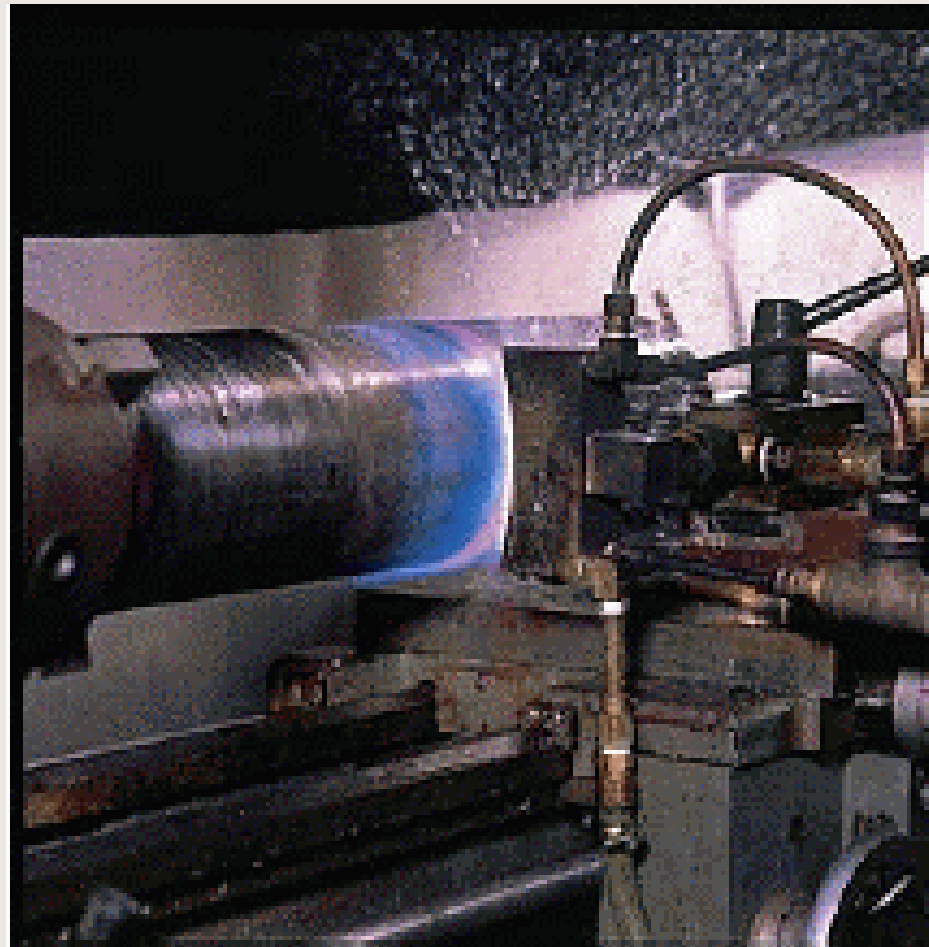
Štěrbínový hořák

- Postupný ohřev pruhu
- Kalení vodní nebo olejovou sprchou
- Na samokalení zpravidla již velký ohřátý objem



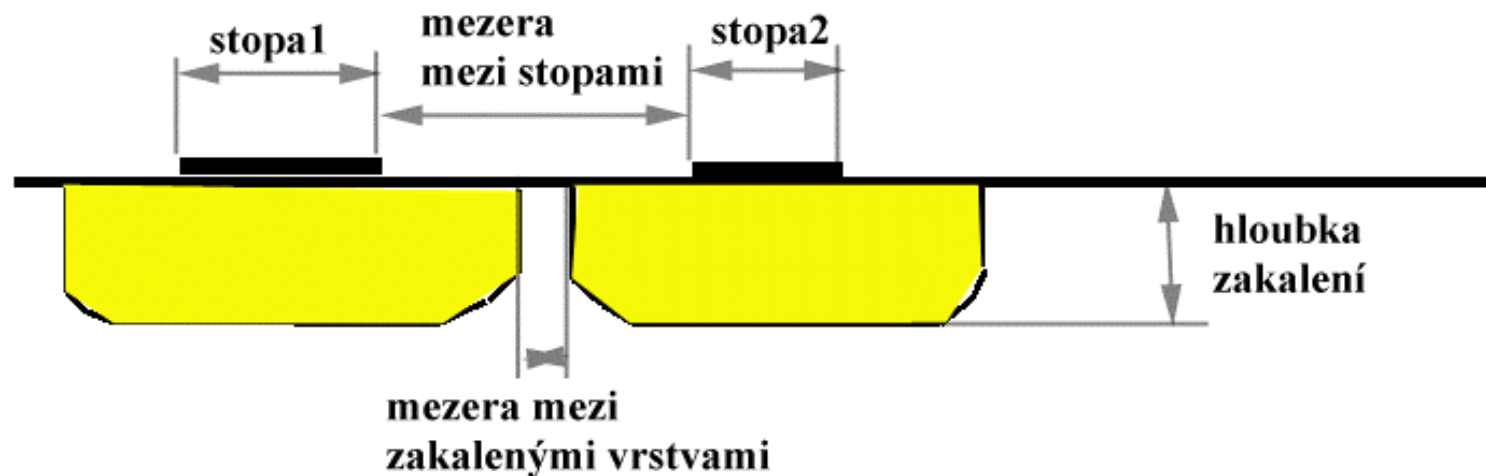
Tvarovaný štěrbinový hořák

- Přizpůsobení tvaru rotační součásti.
- Současný rotační a posuvný pohyb
- Kalení opět vodní nebo olejovou sprchou



Kalené stopy vedle sebe

- Mezera mezi stopami musí být alespoň dvě hloubky zakalení
- Pokud nebude mezera mezi zakalenými vrstvami, druhá vrstva první vrstvu popustí
- U plamene kritické- není přesně lokalizován

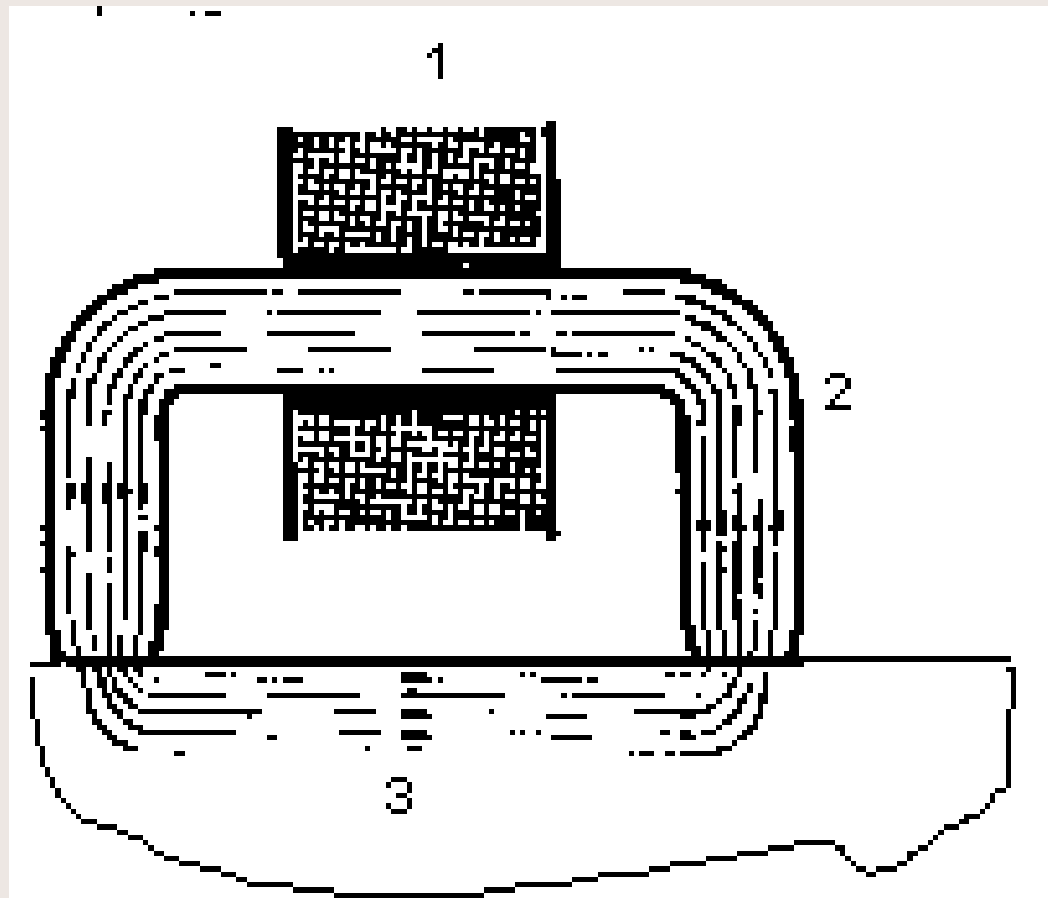


Princip indukčního ohřevu

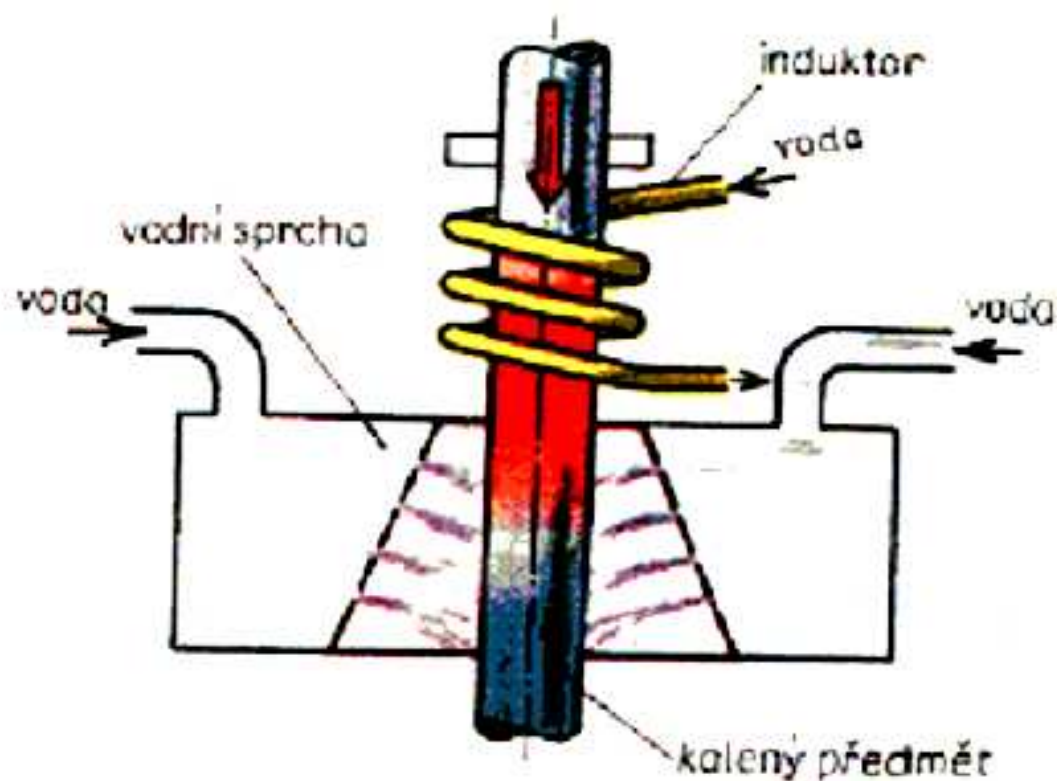
- Používá se střídavé magnetické pole střední nebo vysoké frekvence
- V povrchové vrstvě vznikají elektromagnetickou indukcí vířivé proudy.
- Hloubka průniku pole a vzniku těchto proudů je pro pole o frekvenci f rovna
$$h = 503 \cdot \sqrt{(\rho / f \cdot \mu)}$$
 ρ je specifický elektrický odpor a μ relativní magnetická permeabilita kovu.
- Indukčně ohřívat je možné libovolný elektricky vodivý materiál – kov. Pro většinu kovů je $\mu = 1$, u feromagnetických $\mu \gg 1$ - výhodné.

Schema indukčního ohřevu

- 1 – cívka, kterou protéká proud
- 2 – jádro, soustředující magnetické pole
- 3 – vířivé proudy v povrchu součásti



Schema indukčního kalení



Indukční ohřev slitin železa

- Železo patří mezi feromagnetické kovy – má vysokou relativní magnetickou permeabilitu (sta až tisíce).
- Hloubka průniku magnetického pole je v železe malá ve srovnání s ostatními kovy.
- Energie magnetického pole se ale soustřeďuje především ve feromagnetickém materiálu, ohřev oceli je řádově rychlejší než u ostatních kovů.

Magnetické vlastnosti různých fází železa, ocelí a litin

- Ferit, cementit a martenzit jsou feromagnetické až do teploty tzv Curiova bodu.
- Curieův bod feritu je 760 °C
- Neferomagnetický ferit se někdy označuje jako ferit beta.
- Austenit není feromagnetický.
- Grafit není feromagnetický.
- Austenit i grafit se proto ohřívají mnohem pomaleji, ale do mnohem větší hloubky.

Hloubky vniku magnetického pole v mm :

Frekvence Hz :	Pro měď :	Ferit (20 °C)	Austenit (850 °C)
50	10	4	90
2 000	1,5	1	15
10 000	0,7	0,3	6
100 000	0,2	0,1	2
300 000	0,1	0,04	1

Doporučené frekvence pro povrchové kalení ocelí

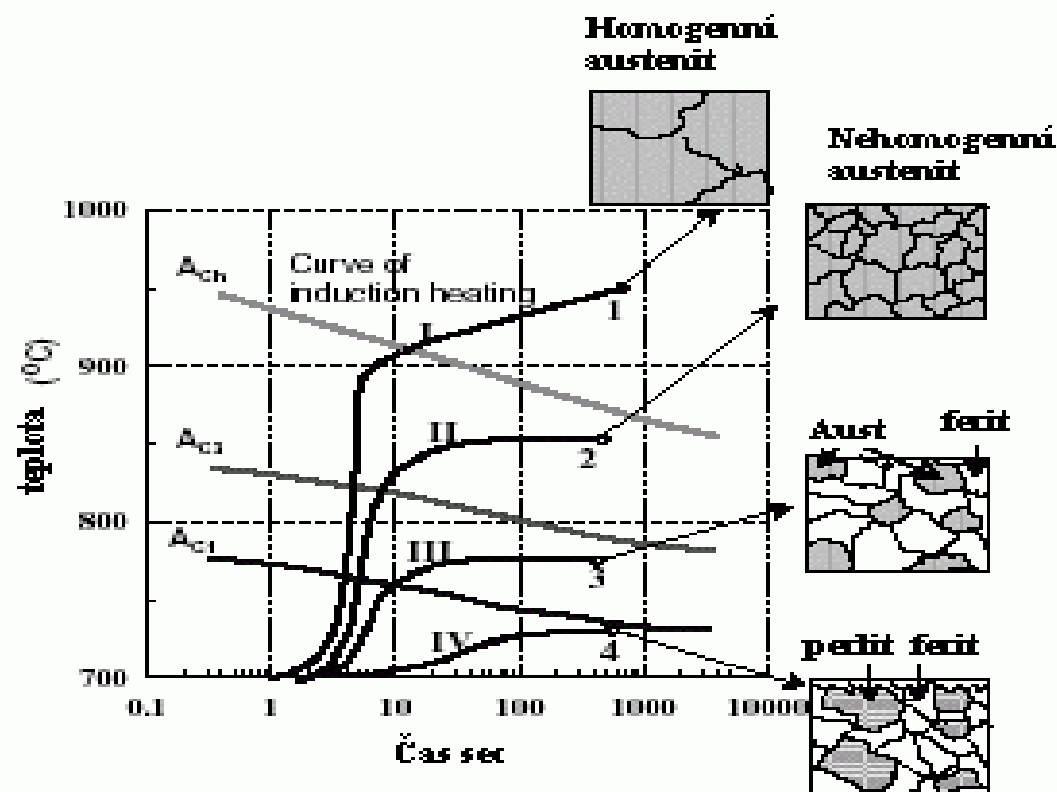
Hloubka mm :	Min. frekv. kHz	Opt. frekv. Hz	Max. frekv. kHz
1	15	60 000	---
1,5	7	25 000	100
2	4	15 000	60
3	1,5	7 000	30
4	1	4 000	15
6	0,5	1 500	8
10	0,15	500	2,5

Ohřev pod a nad Curiovým bodem

- Nad Curiovým bodem ztrácí slitiny železa feromagnetické vlastnosti.
- Prudce se zvýší hloubka průniku magnetického pole do oceli
- Silně se zpomalí ohřev, protože energie pole se začne rozptylovat do okolí

Schema dějů při indukčním kalení

- Zpomalení na konci ohřevu omezuje nebezpečí přehřátí povrchu



Charakteristické vlastnosti indukčního kalení

- Je velmi dobře regulovatelné
- Moderní magnetické materiály umožňují kalit přesně tu část, kde je to zapotřebí
 - koncentrátoři magnetického pole
- Jádru nebo koncentrátor musí být co nejblíže k součásti
- Dnes existují i přenosná zařízení na indukční kalení

Přenosný indukční generátor

Pod generátorem jsou
zleva doprava
přípravky :

- Na rotační předměty
- Na hrany a p.
- Na ploché předměty

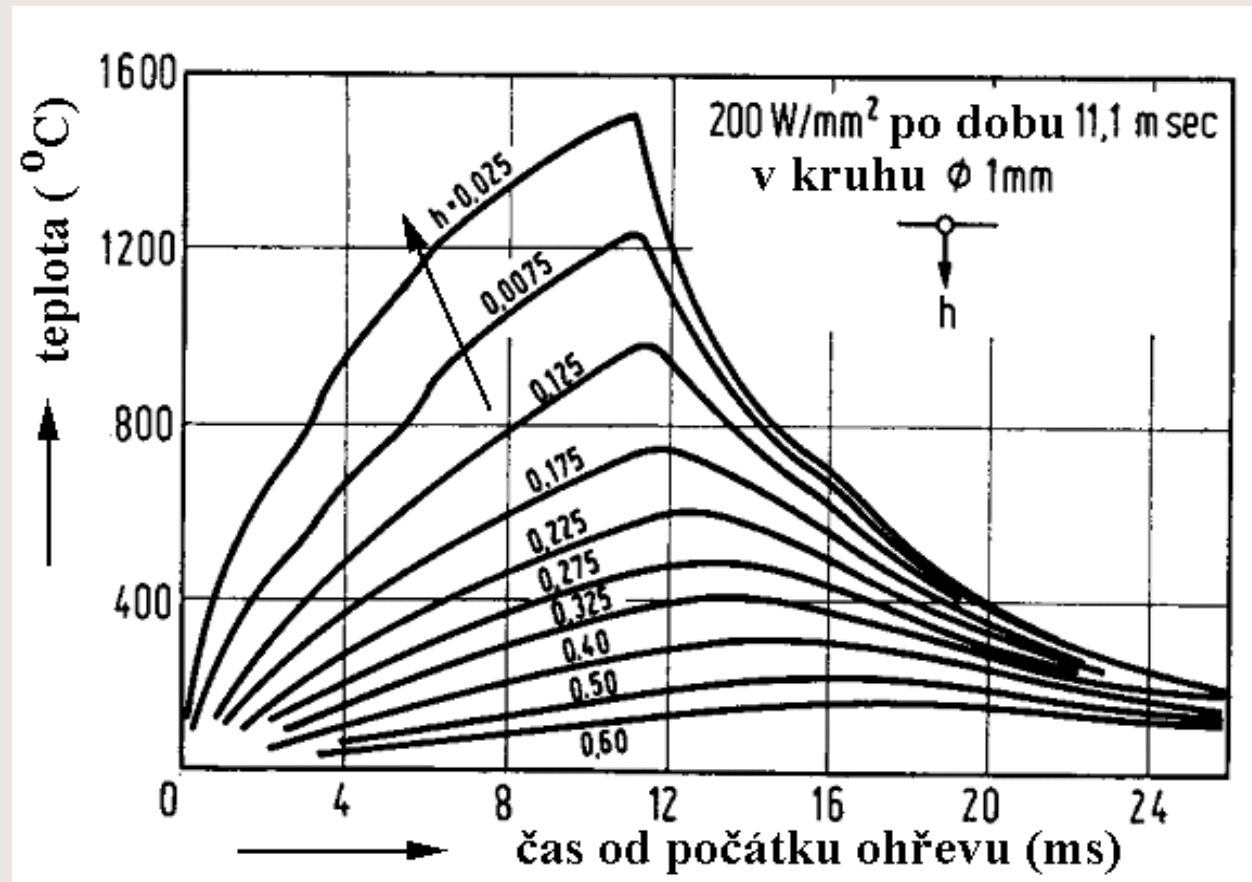


Výhody povrchového kalení laserem

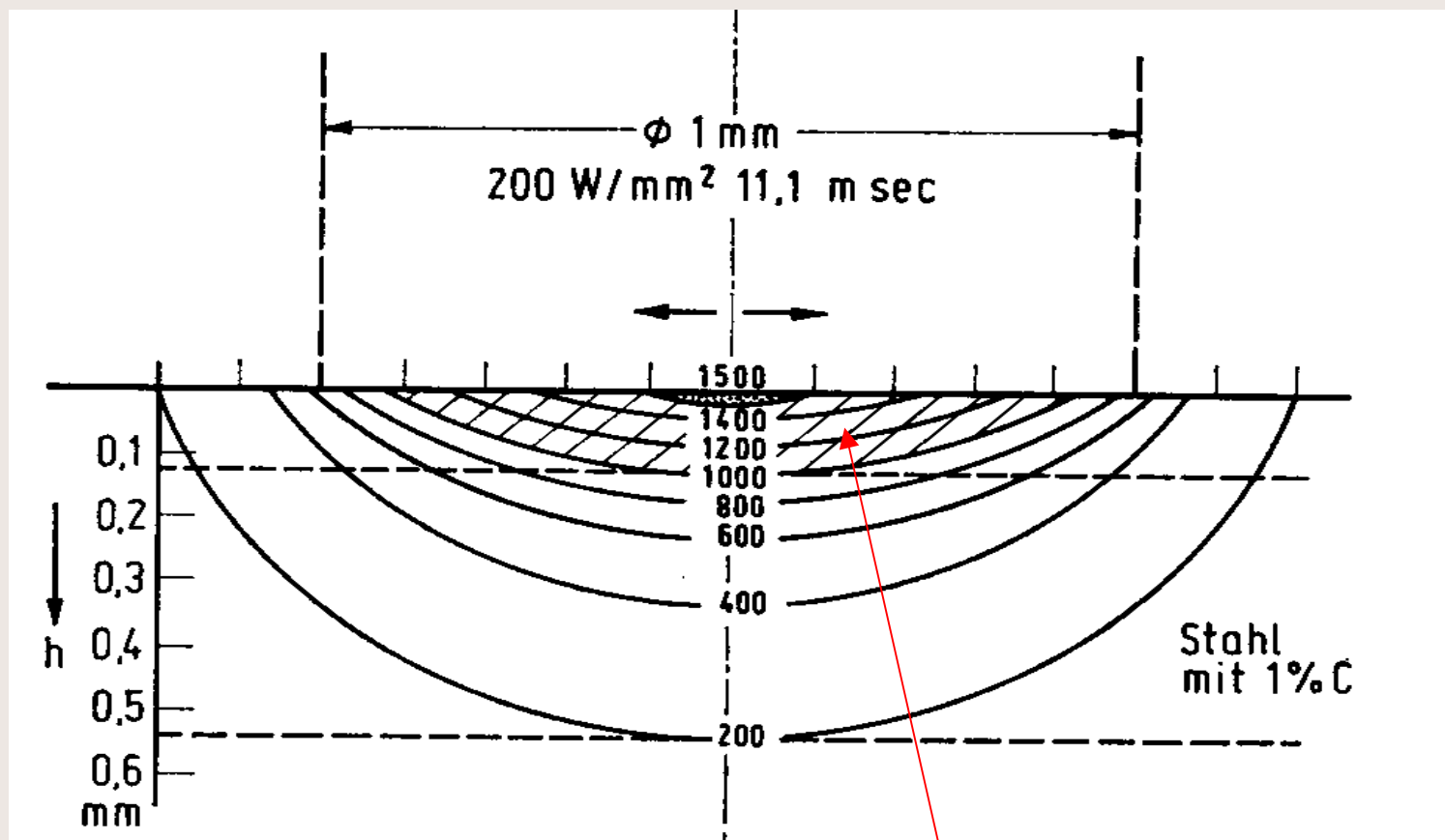
- Minimální tepelně ovlivněné pásmo - minimum deformace
- není třeba kalicí medium - samokalení
- možno pracovat i v těžko dostupných místech
- patří mezi „čisté“ operace
- možno pracovat v libovolné atmosféře, oxidace je ale vždy minimální
- lehká ovladatelnost a automatizovatelnost procesu
- širší pásy možno kalit příčným skanováním paprsku

Časový průběh laserového kalení

- Výkon záření 20 kW/cm² je dvacetinásobek plamene



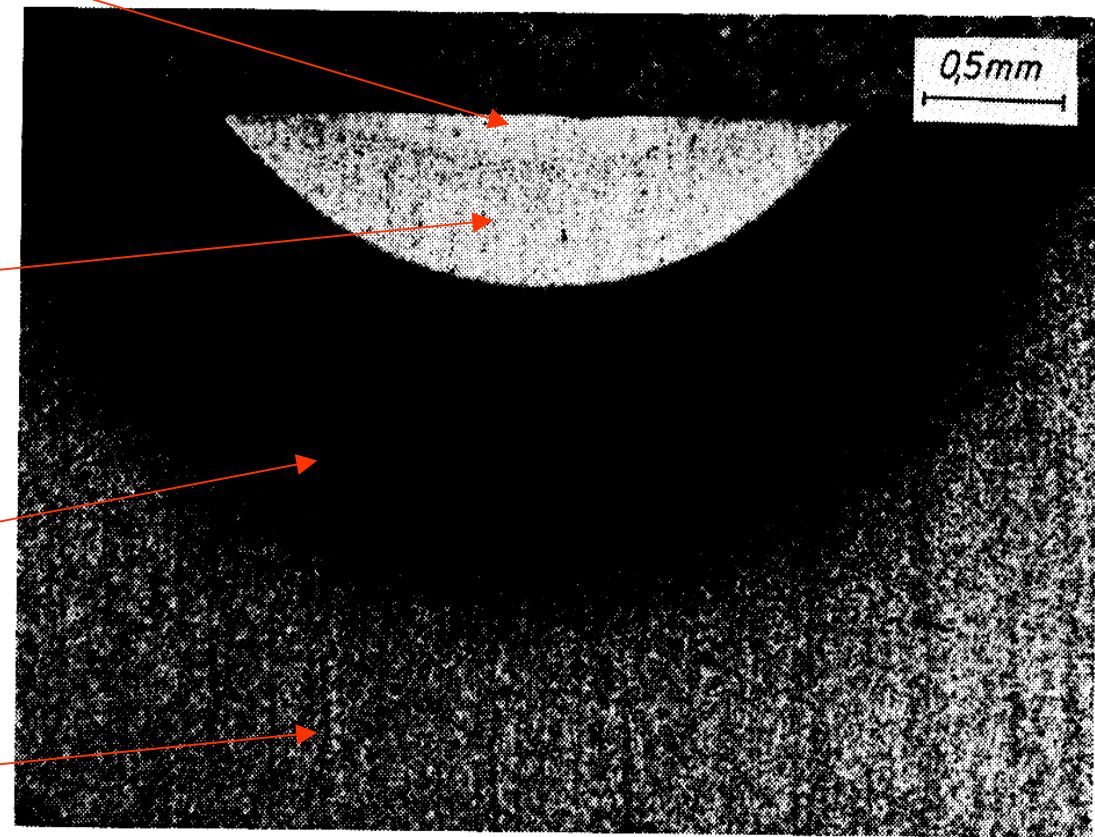
Hloubka laserového kalení



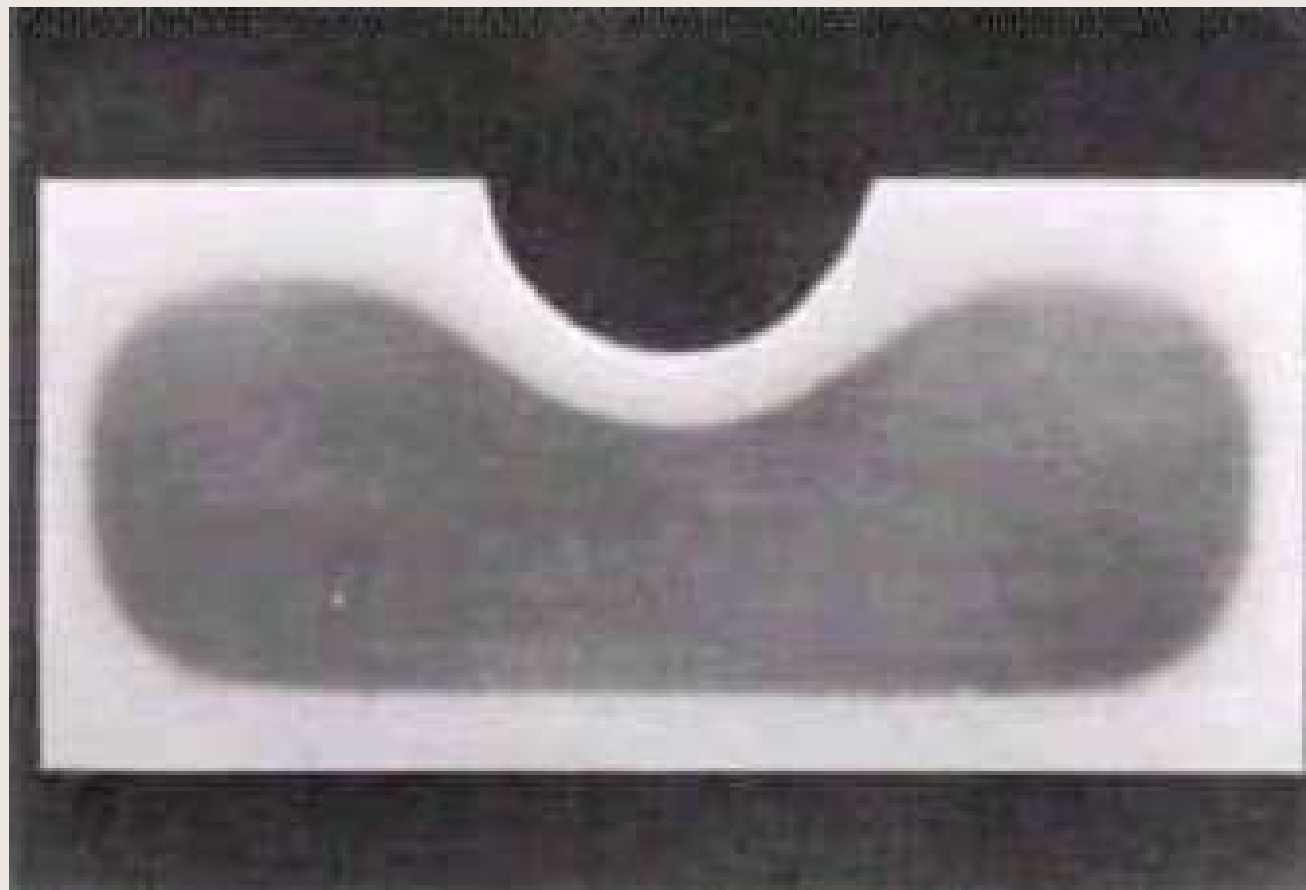
Šikmé šrafování - nataveno

Celkový vzhled zakalené vrstvy

- Bílá vrchní vrstva - přetavené, martenzit
- Hlavní bílá vrstva - martenzit
- Černá vrstva - přechod, částečné kalení
- Šedá vrstva - jádro



Ukázka povrchového kalení



Správné povrchové kalení. Hloubka 5 mm.