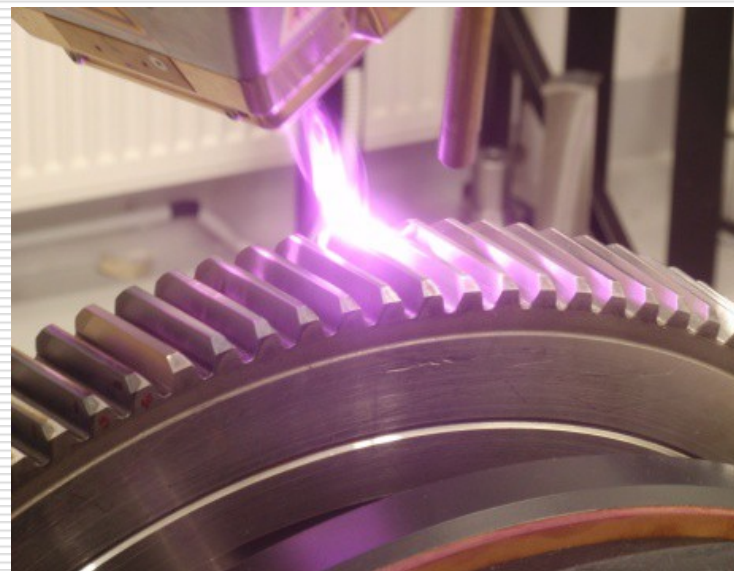
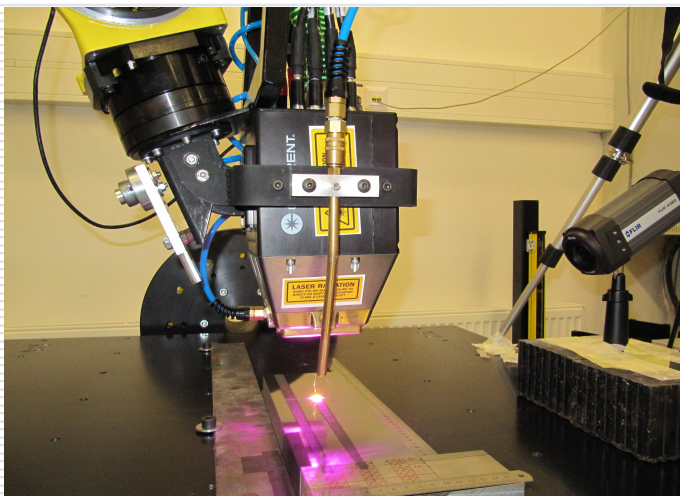
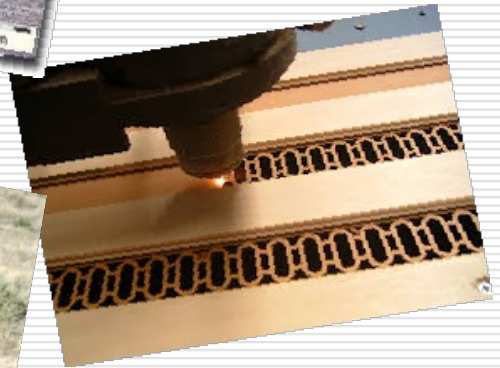
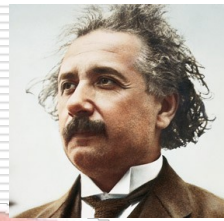


LASERY A JEJICH PRŮMYSLOVÉ APLIKACE





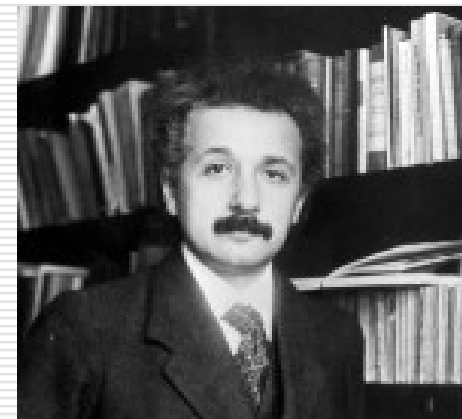
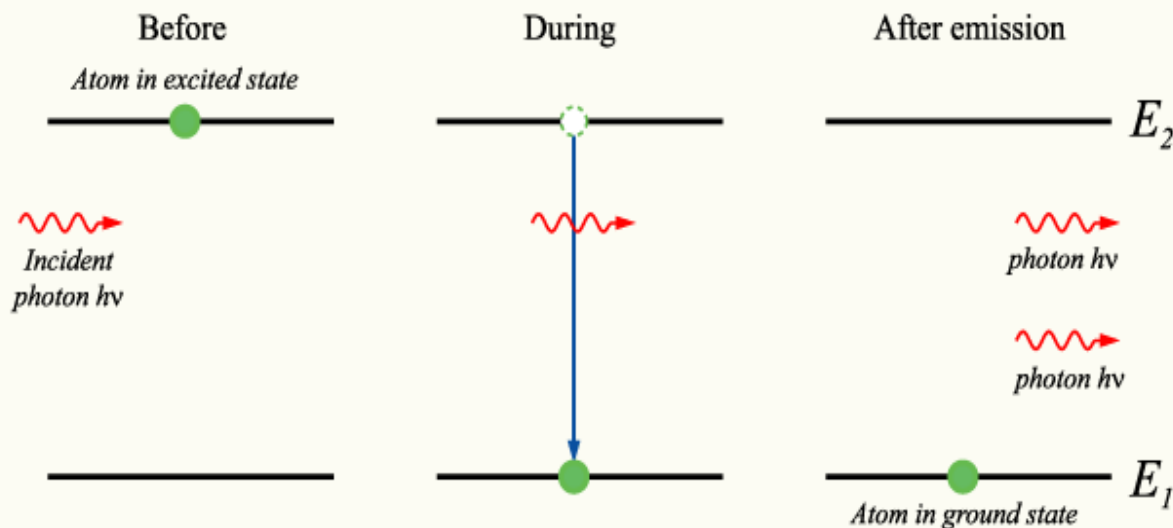
OSNOVA PREZENTACE

- 1) LASER – CESTA K OBJEVU
- 2) STIMULOVANÁ EMISE
- 3) ZÁKLADNÍ PRINCIPY FUNGOVÁNÍ
LASERU
- 4) LASEROVÉ POVRCHOVÉ KALENÍ
- 5) LASER CLADDING
- 6) LASER PEENING

CESTA K OBJEVU

1917- A. EINSTEIN

- předpovídá, že kromě absorpce a emise záření existuje ještě **stimulovaná emise**



[2] <http://qualityassuranceservices.com>

[1] <http://physics.schooltool.nl>

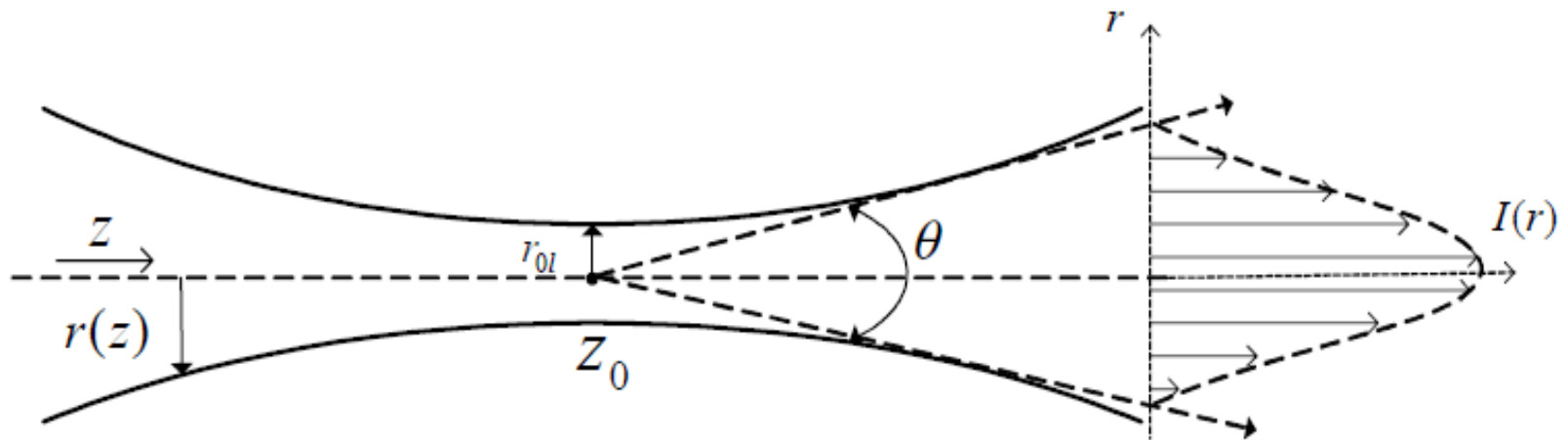
STIMULOVANÁ EMISE

- stimulovaně emitované fotony (záření) mají všechny stejnou vlnovou délku, a tím i energii
- vlnová délka záření definuje jeho barvu
- laserové záření je proto monochromatické
- fotony laserového záření jsou navíc ve fázi a postupují stejným směrem (koherence záření)
- srovnání emise záření běžného tepelného zdroje (žárovka, výbojka apod.)
- vysoká koherence a nízká rozbíhavost laserového svazku umožňují jeho *fokusaci* (soustředění) na velmi malý průměr, a tím dosažení vysoké hustoty výkonu laserového záření.



[3] www.laserfest.org

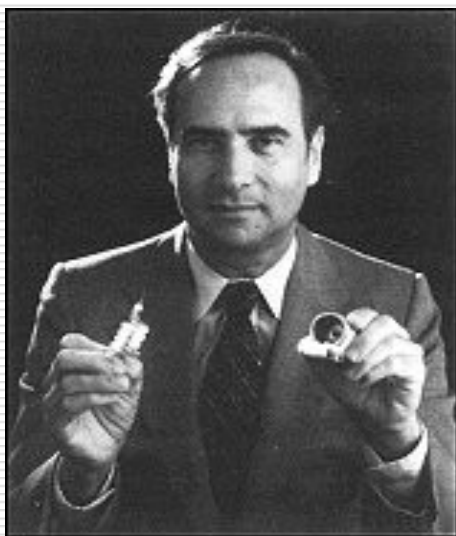
LASEROVÝ PAPERSEK



[4] Toyserkani, E., Khajepour, A., Corbin, S., Laser cladding, CRC Press 2005

LASER – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

1960 - Theodore H. MAIMAN



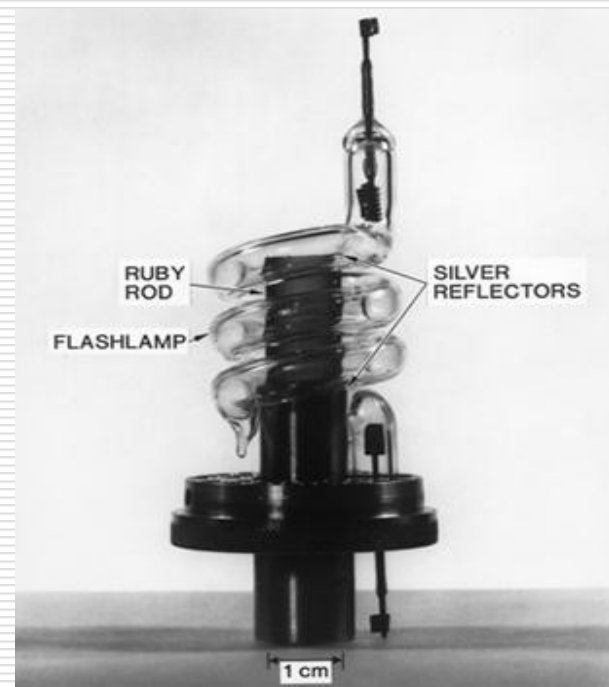
[5] en.wikipedia.org

- zesilovač světla pomocí stimulované emise záření
- světlo je z laseru vyzařováno ve formě úzkého svazku, je monochromatické a koherentní

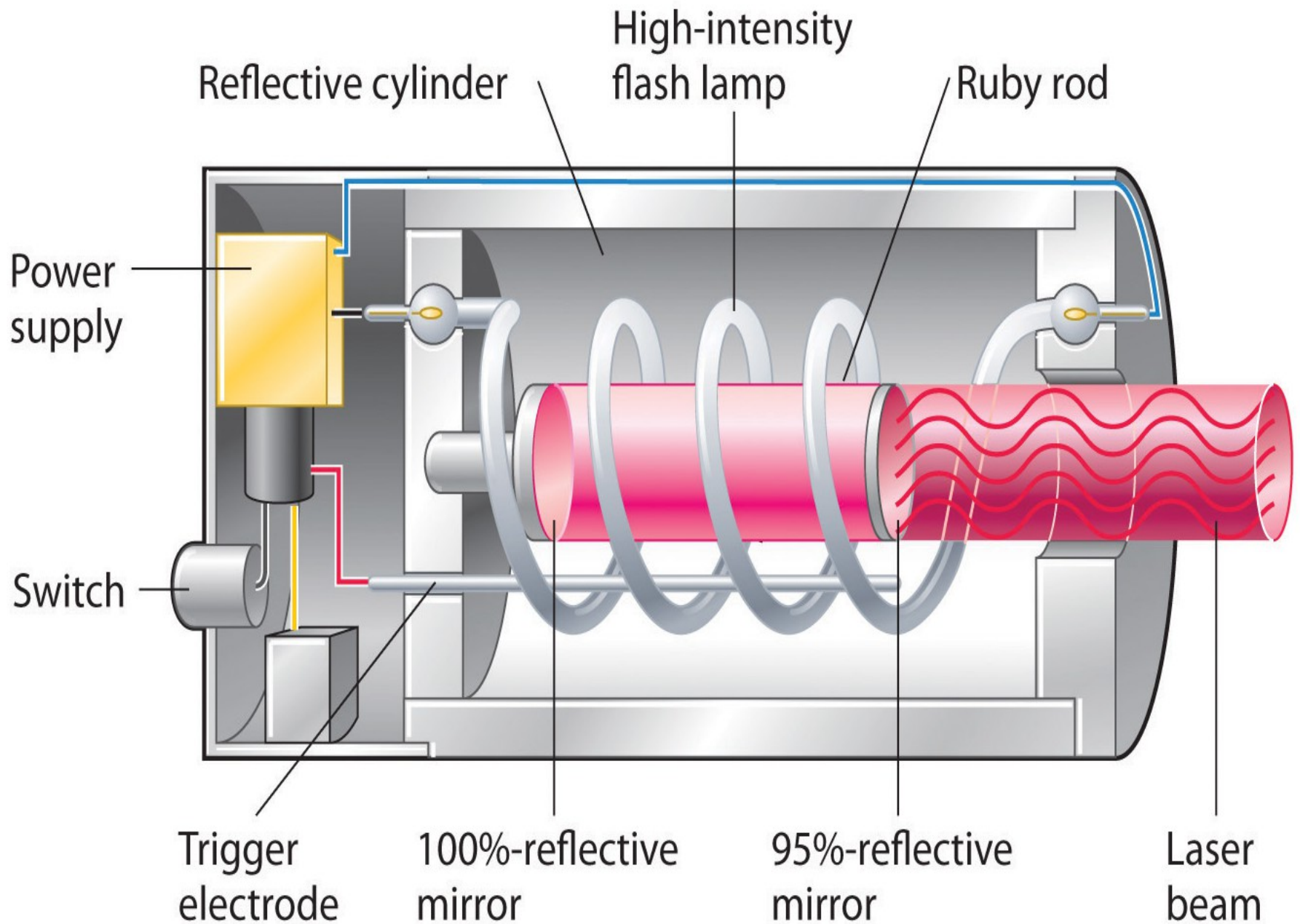
Hughes Research Laboratories

Pulsní rubínový laser

uveden v činnost 15. května
1960



[5] en.wikipedia.org

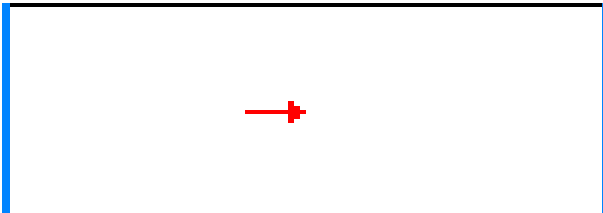


REZONÁTOR

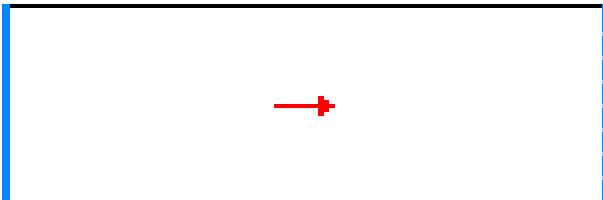
- soustava dvou zrcadel, z nichž jedno je odrazivé až z 99,9 % a druhé zrcadlo je propustné



Fotony letící mimo osu rezonátoru uniknou z tyčinky bez užitku ven.



V tyčince zůstanou jen ty fotony, které se šíří ve směru osy. Dopadají na plochy zrcadel kolmo, odrážejí se od nich přesně zpět a pohybují se v tyčince stále sem a tam.



Fotony vznikající stimulovanou emisí se odrážejí od zrcadel sem a tam, stimulují další vybuzené atomy a intenzita světla uvnitř tyčinky postupně narůstá. Jakmile přesáhne určitou mez, mocný světelný impulz vyrazí polopropustným zrcadlem ven jako laserový paprsek.

REZONÁTOR

- čím větší je vlnová délka záření, tím obtížnější je jeho fokusace, dosahuje vyššího *BPP* a tedy nižší kvality
- v případě průmyslových laserů je svazek opouštějící rezonátor dál upravován systémem čoček a clon, který zvyšuje kvalitu a upravuje průměr výstupního svazku
- tento systém se nazývá *expander* a slouží především ke snížení divergence svazku
- v expanderu dochází k velkým energetickým ztrátám, což vždy snižuje výslednou účinnost laserového systému
- kvalita svazku je však v řadě aplikací preferována před jeho výkonem

REZONÁTOR, CHLADÍCÍ SYSTÉM

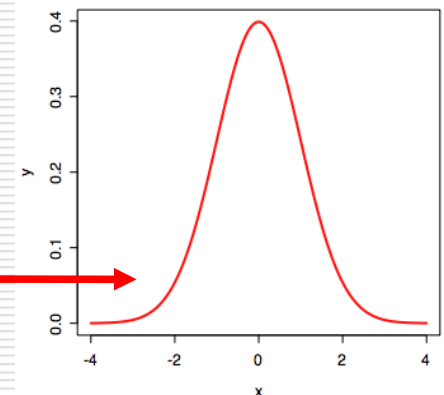
- materiál, ze kterého jsou optické komponenty vyrobeny, závisí na vlnové délce generovaného záření a nesmí toto záření pohlcovat
- nejvíce se používá dielektrické sklo nebo leštěné kovy
- vzhledem k velkým energetickým ztrátám při buzení aktivního prostředí, dalším ztrátám v rezonátoru i na optických prvcích, kterými svazek prochází, dochází k významnému ohřevu mnoha součástí během činnosti laseru
- je-li aktivním prostředím krystal, může docházet i ke změnám jeho rozměrů, a tím i vlastností a při určité teplotě přestává laser fungovat - každý výkonový laserový systém proto musí být vybaven chladícím zařízením
- tradičně se využívá především chlazení založené na proudění kapaliny, nejčastěji demineralizované vody

Módy rezonátoru


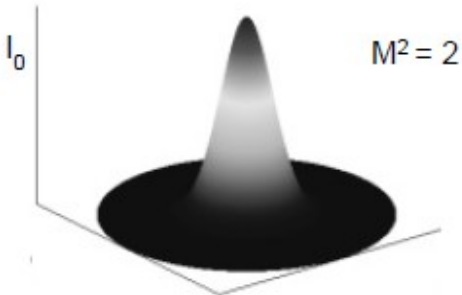

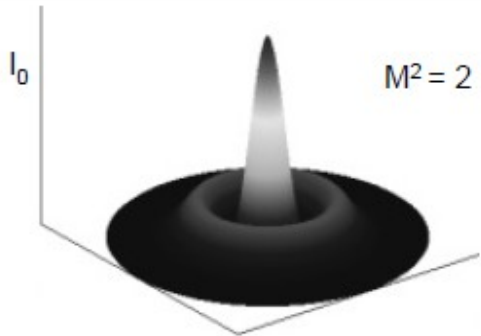
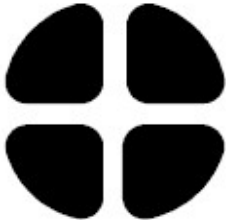

- nastavením vhodných vzdáleností zrcadel dochází v rezonátoru k výběru požadované rezonanční frekvence, ostatní frekvence jsou potlačeny - oscilovat může jen záření takové frekvence, které se shoduje s některým z módů rezonátoru
- módy rezonátoru jsou prostorová uspořádání elektromagnetické energie v tomto zařízení a obvykle jsou značeny TEM_{mnq}
- index q zde značí podélný mód a indexy m a n mód příčný
- podélné módy mají směr shodný se směrem šíření fotonů v rezonátoru
- počet módů v rezonátoru je omezený
- příčné módy studujeme v rovině kolmé na směr šíření svazku
- nejjednodušším příčným módem je tzv. gaussovský mód TEM_{00}

Gaussovský mód

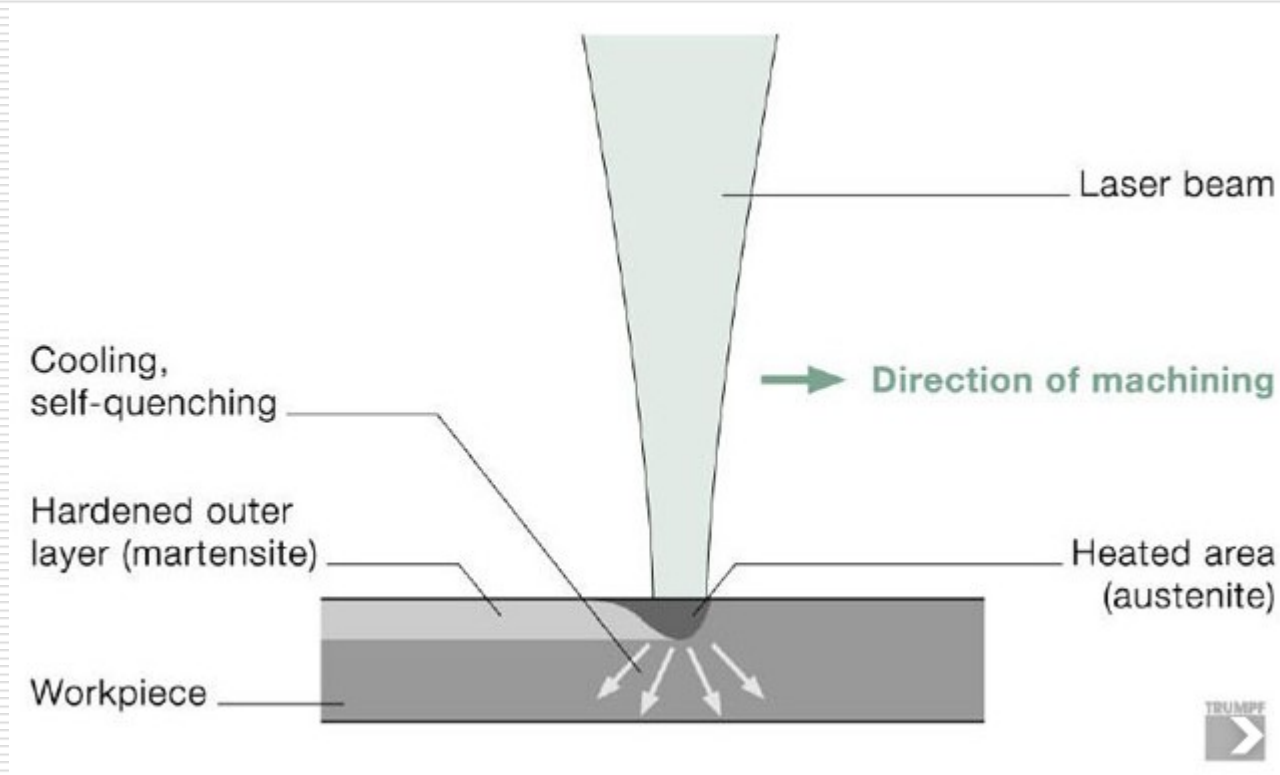
- tento mód je symetrický kolem osy rezonátoru
 - jeho obraz na zrcadle má kruhový tvar
 - rozložení intenzity je dáno gaussovskou funkcí
- intenzita dosahuje největší hodnoty na ose



Módy rezonátoru

TEM	cross-section	distribution
TEM_{00}		
TEM_{10}		
TEM_{11}		

LASEROVÉ POVRCHOVÉ KALENÍ

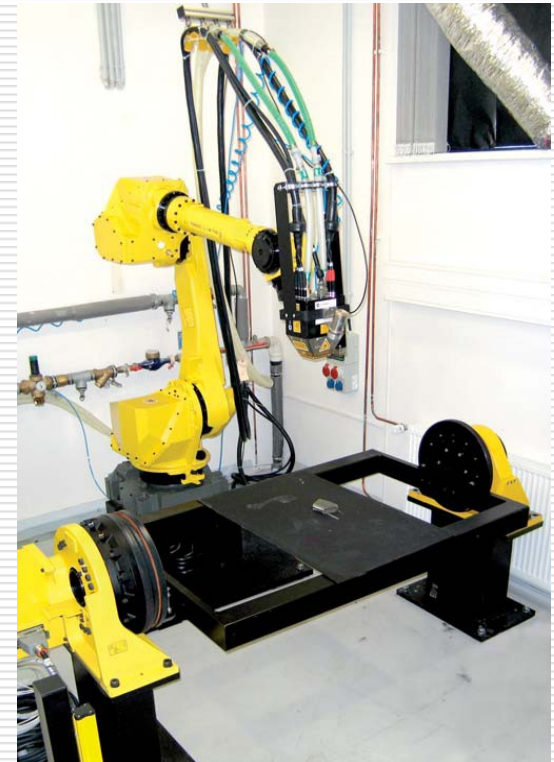


[7]<http://www.us.trumpf.com>

LASEROVÉ POVRCHOVÉ KALENÍ

□ Výhody procesu laserového povrchového kalení

- Bez použití chladicího média
- Minimální přítomnost napětí a trhlin
- Vysoká absorpce záření – vysoce efektivní proces
- Minimální deformace
- Bez nutnosti následného obrábění
- Umožňuje tepelné zpracování tvarově složitých součástí
- Technologie předurčená k automatizaci → snižování nákladů při opakované výrobě



PARAMETRY LASEROVÉHO POVRCHOVÉHO KALENÍ

- Procesní parametry - ovlivňují výslednou kvalitu a efektivitu tepelného zpracování
 - **Výstupní výkon**
 - Hustota výkonu ve fokusační vzdálenosti
 - Vlnová délka
 - Energetické rozložení
 - **Procesní rychlost**
- Morfologie – drsnost povrchu
- Čistota, homogenita materiálu, **výchozí struktura**
- Materiálové vlastnosti
 - Optické – absorptivita, emisivita
 - Tepelné – tepelná a teplotní vodivost

METALURGIE PROCESU

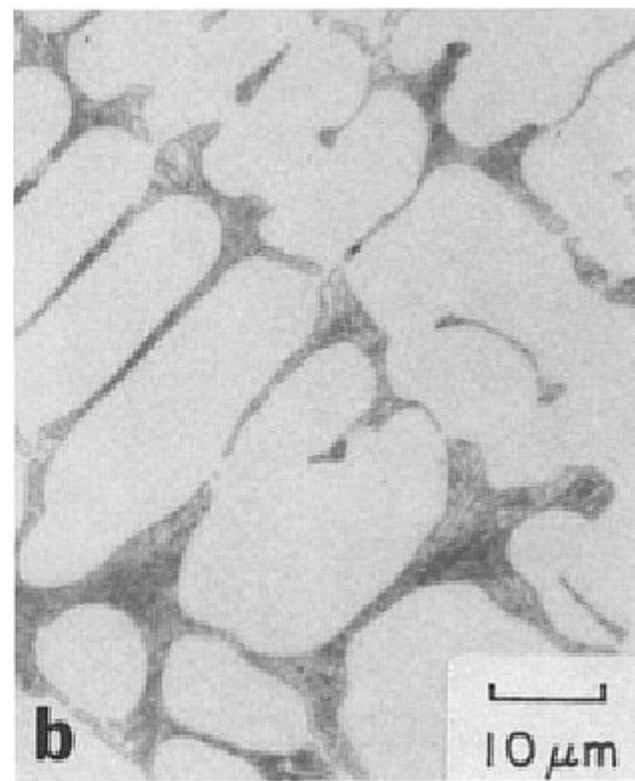
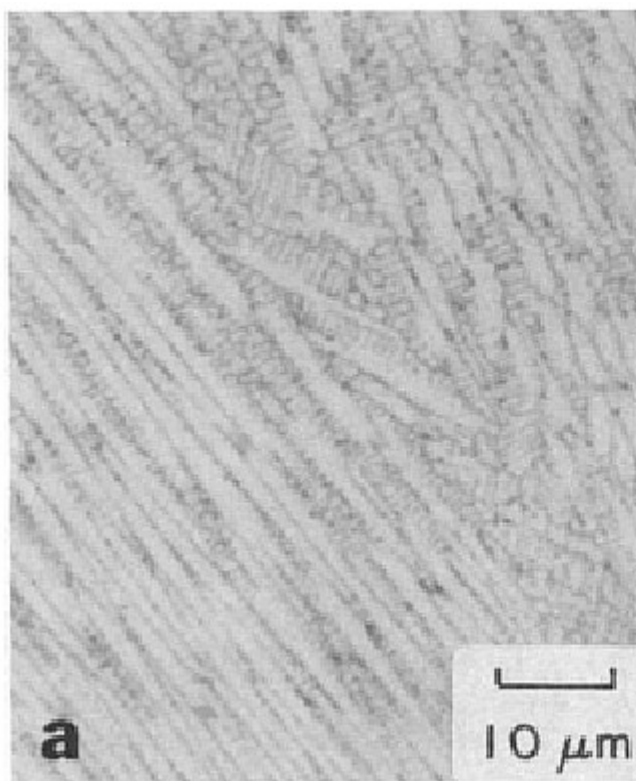
- rozdílných vlastností se dosahuje **rychlým ohřevem povrchu** na kalící teplotu a následujícím **rychlým ochlazením**
- ohřívá-li se povrch kaleného předmětu větší rychlostí než jakou se přiváděné teplo odvádí směrem dovnitř součásti, vzniká v jeho povrchové vrstvě tepelný spád, který umožňuje dosáhnout kalící teploty jen do určité hloubky pod povrchem
- **mechanismus fázových přeměn se při těchto vysokých rychlostech (až několik set °C/s) ohřevu zásadně nemění**

hloubka zakalení = 0,1 – 1,5 mm; šířka stopy = 5 – 60 mm

Zdroj energie	Maximální měrný výkon [W/cm²]
Indukční ohřev	$1 \cdot 10^2$
Kyslíko-acetylenový plamen	$5 \cdot 10^2$
Laserové záření	$1 \cdot 10^8$
Elektronové záření	$5 \cdot 10^8$

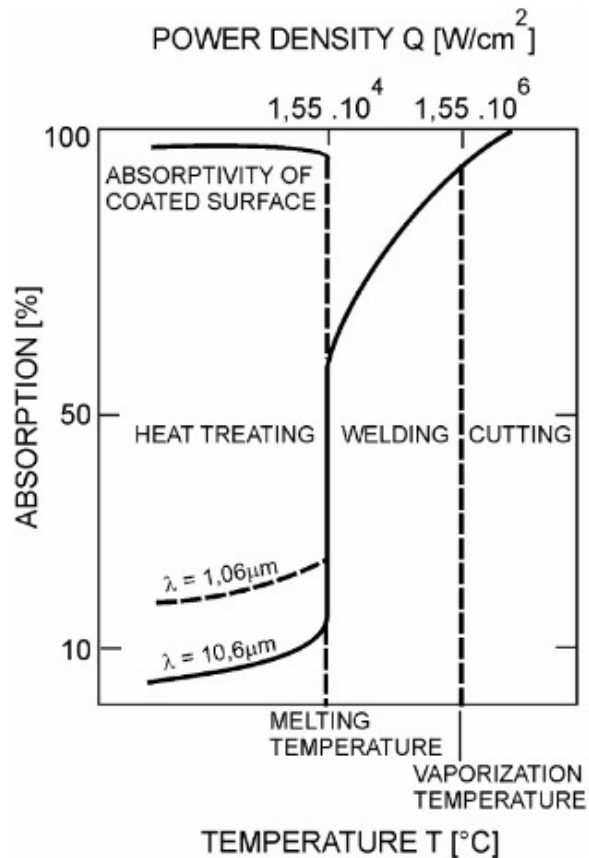
[8] Klufová, P.; Návrh technologie
» laserového povrchového zpracování
» konstrukčních ocelí, ZČU Plzeň 2010

METALURGIE PROCESU



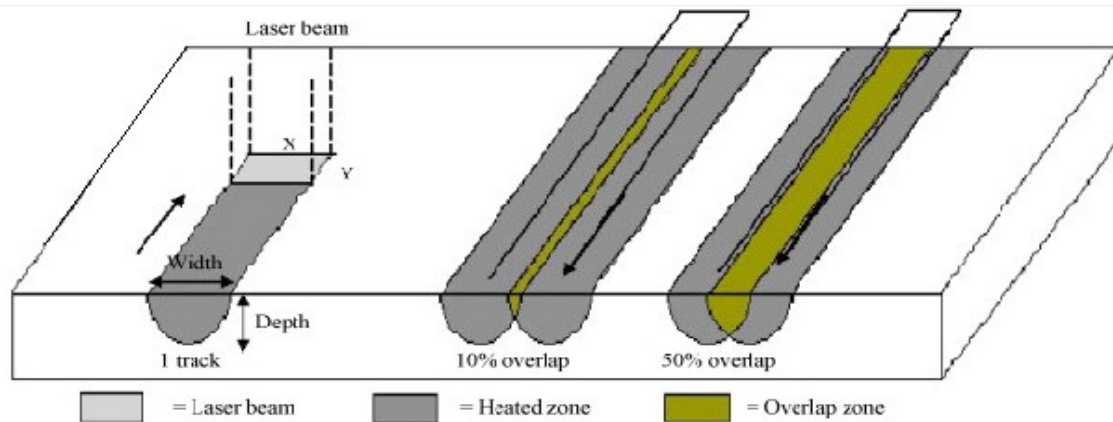
[9] ASM Metals Handbook – Heat treatment

METALURGIE PROCESU



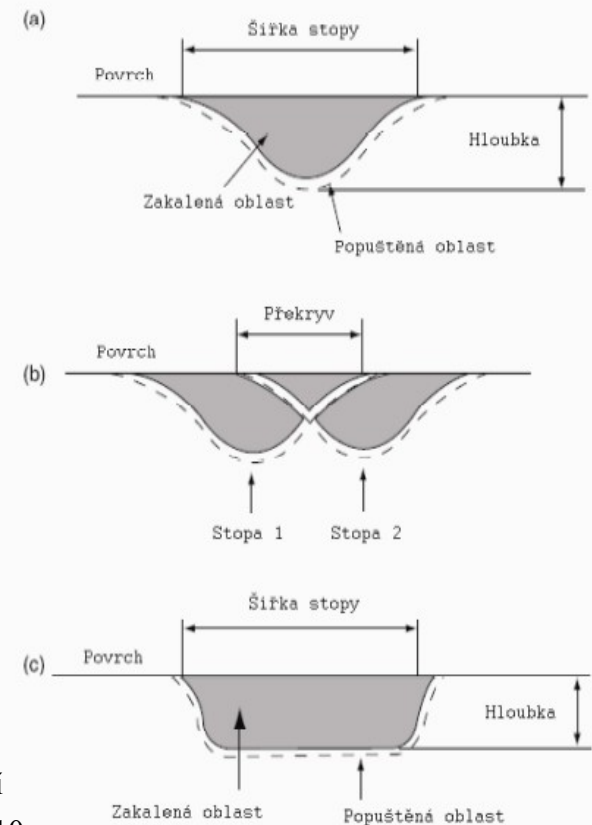
[10] J. Grum, Comparison of different techniques of laser surface hardening, Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana, Slovenia

TECHNOLOGIE LASEROVÉHO POVRCHOVÉHO KALENÍ



[11] Van Ingelgem, Y., Vandendaelm I.,
Department of Metallurgy,
Electrochemistry and Materials Science,
Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, B-
1050 Brussels, Belgium 2007

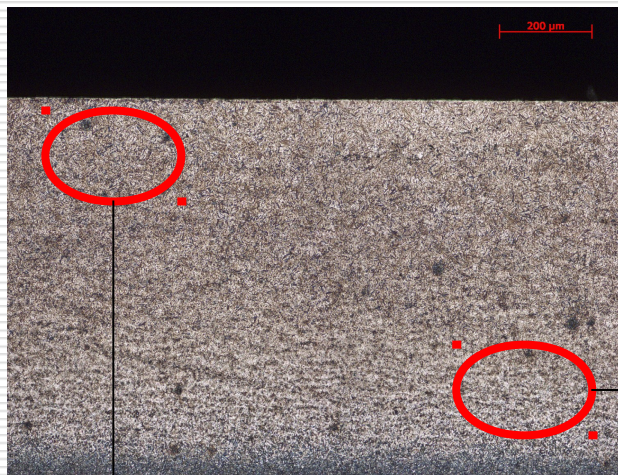
[8] Klufová, P.; Návrh technologie
» laserového povrchového zpracování
» konstrukčních ocelí, ZČU Plzeň 2010



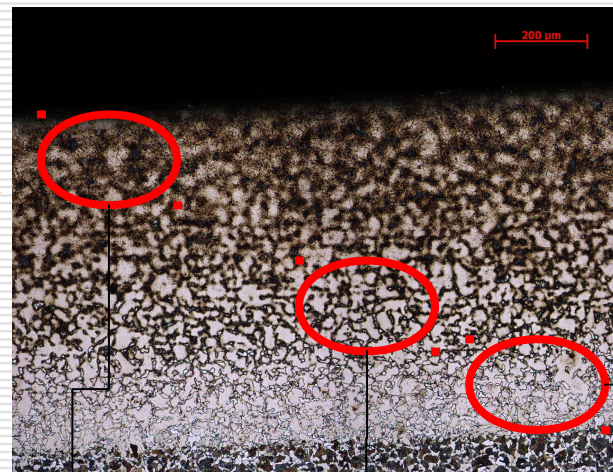
Srovnání metalografických struktur při procesních parametrech $P=2,5 \text{ kW}$, $v=100 \text{ cm/min}$

Ocel ČSN 41 2050 **zušlechtěno**

Ocel ČSN 41 2050 **normalizačně žháno**



zvětšeno 100x



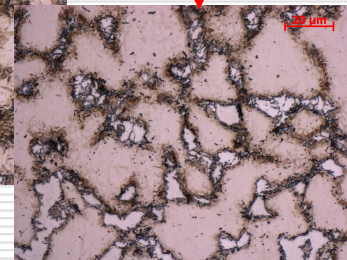
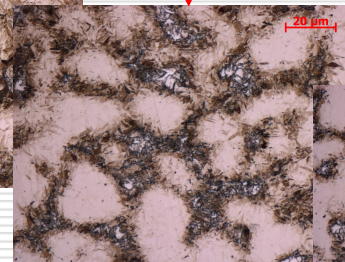
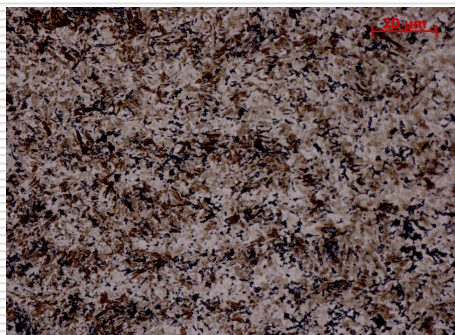
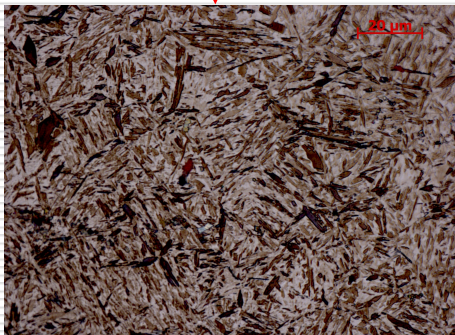
martenzit

martenzit
-
sorbit

martenzit

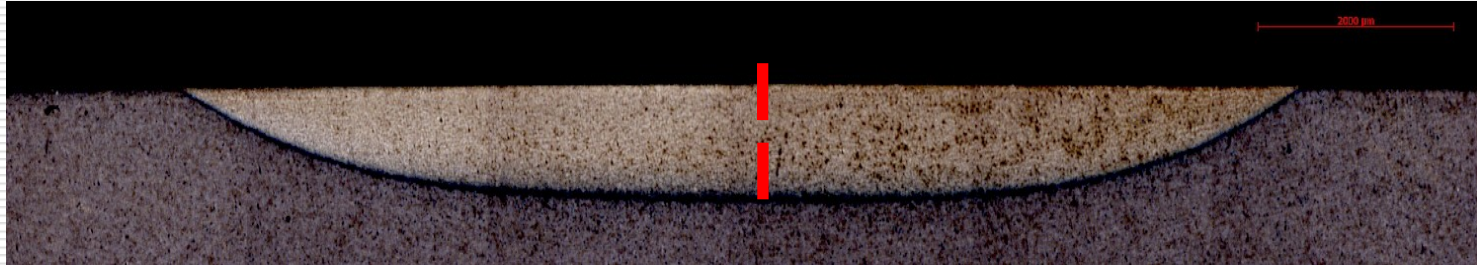
martenzit
-
troostit

martenzit
-
ferit



zvětšeno 500x

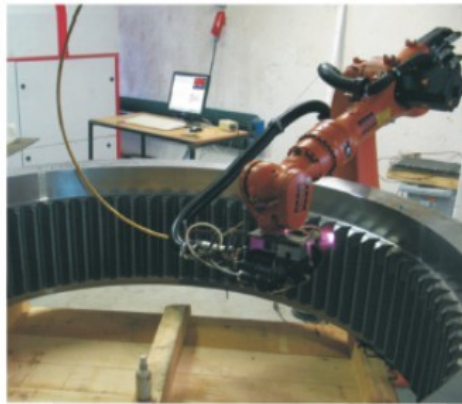
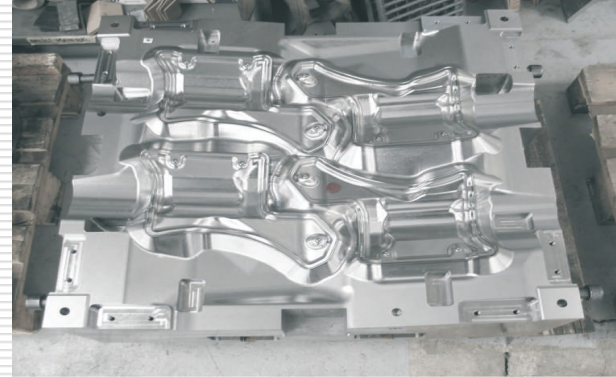
ZAKALENÁ STOPA



ZCU/FST/KM

JAKÉ SOUČÁSTI JE MOŽNÉ LASEREM KALIT ?

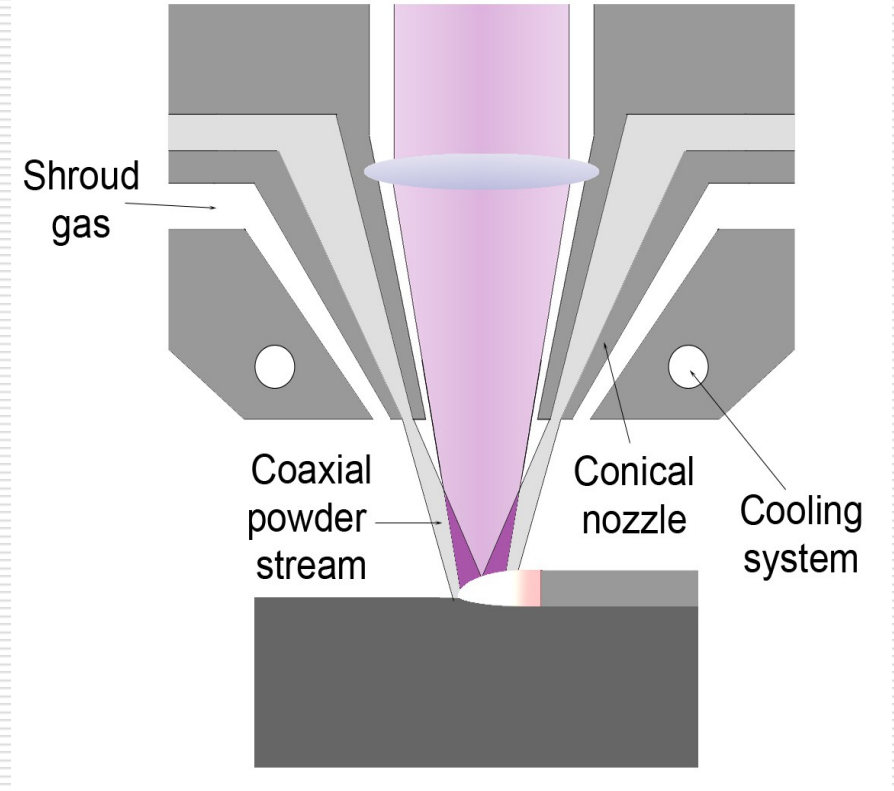
- střížné a ohýbací nástroje
- břity řezných nebo ručních nástrojů
- formy
- třecí plochy
- těsnící a dosedací plochy
- stěny válců spalovacích motorů
- klikové a vačkové hřídele
- ozubená kola



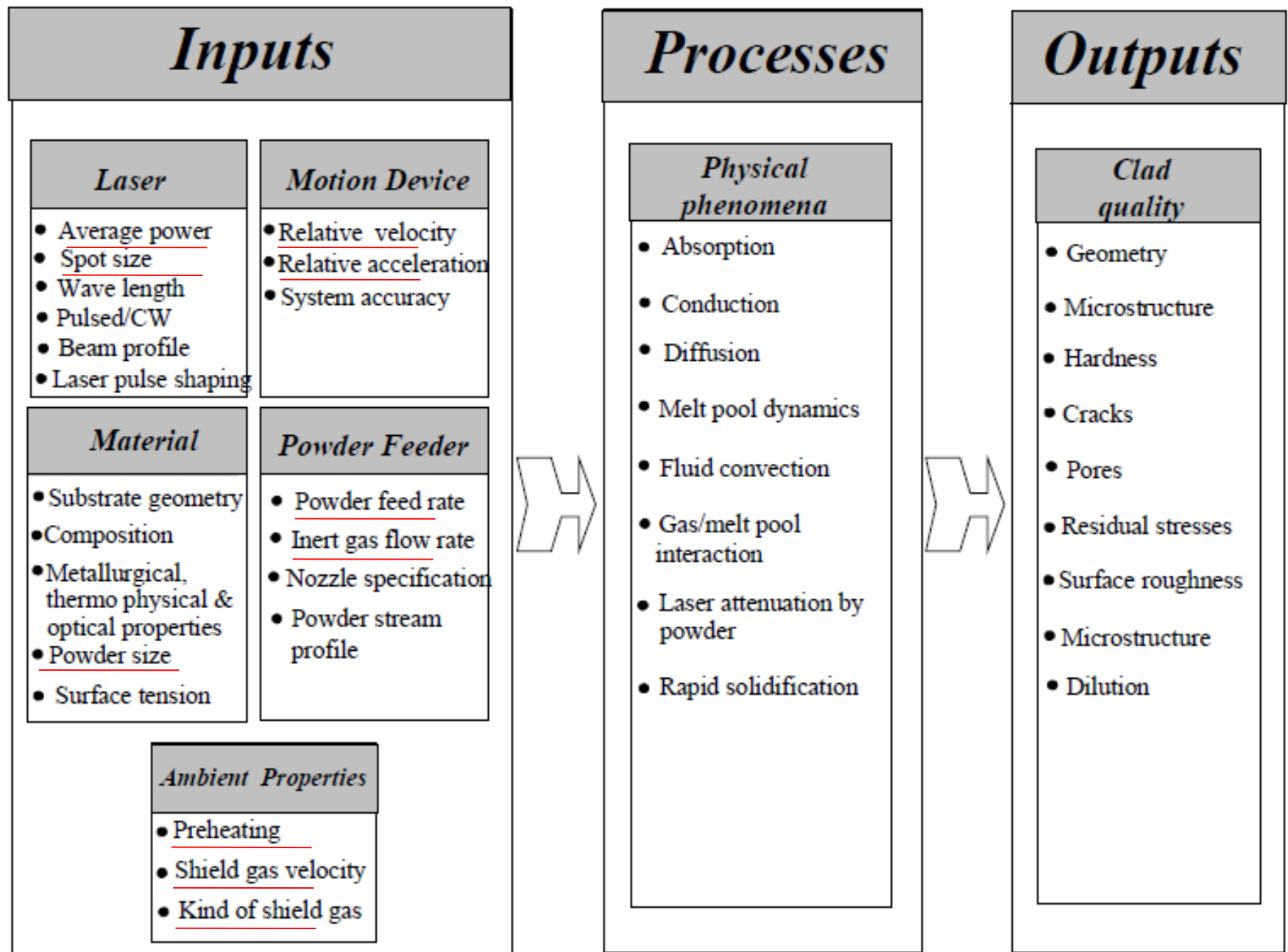
[12] <http://matexpm.com>

LASER CLADDING

- proces laserového navařování
- jeden proces – několik názvů
 - DMD – Direct Metal Deposition
 - LMD – Laser Metal Depositum
- vývoj technologie Laser cladding
 - nanášení gelové suspenze na povrch materiálu – po zaschnutí následovalo přetavení laserem
 - prášek byl přiváděn ze strany pomocí trysky do osy paprsku
 - **koaxiální uspořádání**

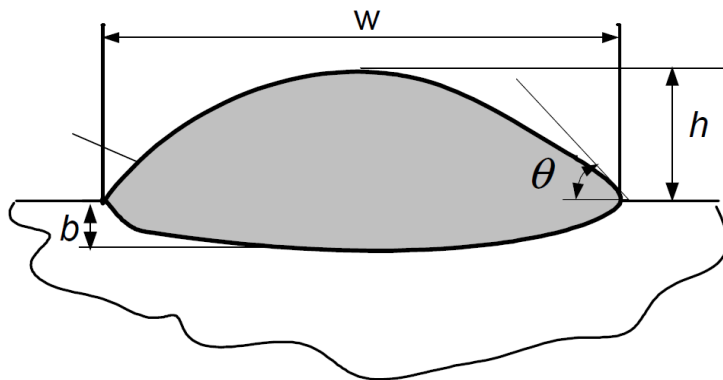


[13] www.en.wikipedia.org



LASER CLADDING PROMÍŠENÍ

[5] Toyserkani, E.,
Khajepour, A., Corbin, S.,
Laser cladding, CRC Press
2005



$$dilution = \frac{b}{h + b}$$

$$d = 5 \%$$

Stellite 21, zvětšeno 2,5 x

PRÁŠKOVÉ PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY

NEREZOVÉ MATERIÁLY

- prášky na bázi Fe s vyšším obsahem Cr a Ni

1) austenitická vrstva

- cca 25 HRC, výborná korozní odolnost
- aplikace pro korozní prostředí –
petrochemický a potravinářský průmysl

2) martenzitická vrstva

- cca 52 HRC
- opravy poškozených strojních dílů

	C	Cr	Ni	Mo	Fe	W	V	Si	Ostatní
<u>Metco</u> 41C	0,03	17	12	2,5	bal.	-	-	2,3	-

PRÁŠKOVÉ PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY

NIKLOVÉ PRÁŠKY

- prášky na Ni + další legury (Cr, B, Si, WC...)
- cca 32 – 62 HRC
- u Ni slitin platí – čím vyšší tvrdost, tím vyšší otěruvzdornost
- mohou nahrazovat Co návary (podstatně dražší)
- náhrada tvrdého chromování
- nejznámější slitiny – Inconel
- pro tepelně exponované součásti – kotle, přehřívačky, sedla a ventily, formy pro sklářský průmysl

	C	Cr	Ni	Mo	Fe	W	V	Si	Ostatní
In 625	0,03	21,5	bal.	9	0,75	-	-	0,4	<u>Nb</u> 3,6

PRÁŠKOVÉ PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY

KOBALTOVÉ SLITINY

- většinou známe pod označením Stellite
 - otěruvzdorné materiály
 - rypadla, dopravníky..
 - ochrana a repase válců papírenského a metalurgického průmyslu
- 1) na bázi CoCrWC(Mo)
 - Stellite 6, 12, 706
 - 2) CoCrMoSi
 - odolné proti otěru a korozi i za vyšších teplot
 - 3) CoCrWC(Mo)
 - Stellite 21

	C	Cr	Ni	Mo	Fe	W	V	Si	Ostatní
Stellite 21	1,1	28,5	2,8	-	1,5	4,4	-	1	Co bal.

VYUŽITÍ TECHNOLOGIE LASER CLADDING

1) Opravárenství

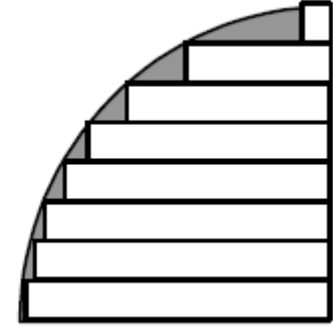
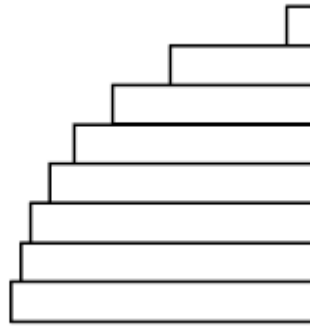
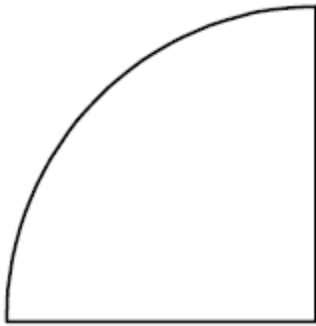
- hřídele, dělicí roviny, třecí plochy vodících lišt, ozubení, náběžné hrany lopatek, formy, zápustky...

2) Návary nových součástí

- pro zlepšení funkčních vlastností
- vnitřky nádob pro petrochemický průmysl – austenitické vrstvy
- hrany lopat bagrů a rypadel – tvrdokovy na bázi Co
- nástroje – WC návary
- lopatky turbin, sedla ventilů – návary na bázi Ni



[14] laserweldingsolutions.com



[5] Toyserkani, E., Khajepour, A., Corbin, S., Laser cladding, CRC Press 2005



[15] www.laser-community.com

Feature	Laser Cladding	Welding	Thermal spray	CVD	PVD
Bonding strength	High	High	Moderate	Low	Low
Dilution	High	High	Nil	Nil	Nil
Coating materials	Metals, ceramics	Metals	Metals, ceramics	Metals, ceramics	Metals, ceramics
Coating thickness	50 μm to 2 mm	1 to several mm	50 μm to several mm	0.05 μm to 20 μm	0.05 μm to 10 μm
Repeatability	Moderate to high	Moderate	Moderate	High	High
Heat-affected zone (HAZ)	Low	High	High	Very low	Very low
Controllability	Moderate to high	Low	Moderate	Moderate to high	Moderate to high
Cost	High	Moderate	Moderate	High	High

LASER PEENING

- prototyp laserového zpevňování – poprvé použit v 70. letech
- více než 2 desetiletí – vývoj laseru
- technologie zpevňování povrchu využitím pulzního laseru
- široká škála materiálů, kde se dá laser peening uplatnit
 - Ti slitiny, oceli, Al slitiny
- zvyšování únavové životnosti, mez únavy, odolnosti proti korozi



[16] www.metalimprovement.com

LASER PEENING

- laser peening – technologie v praxi používána posledních 5 let
- cílem technologického postupu je dosáhnout **zbytkových tlakových napětí** na povrchu materiálu
- oproti konvenčním metodám zpevňování povrchu – vysoká kvalita povrchu, vysoká rychlost průběhu procesu zpevňování, snadná kontrola procesu

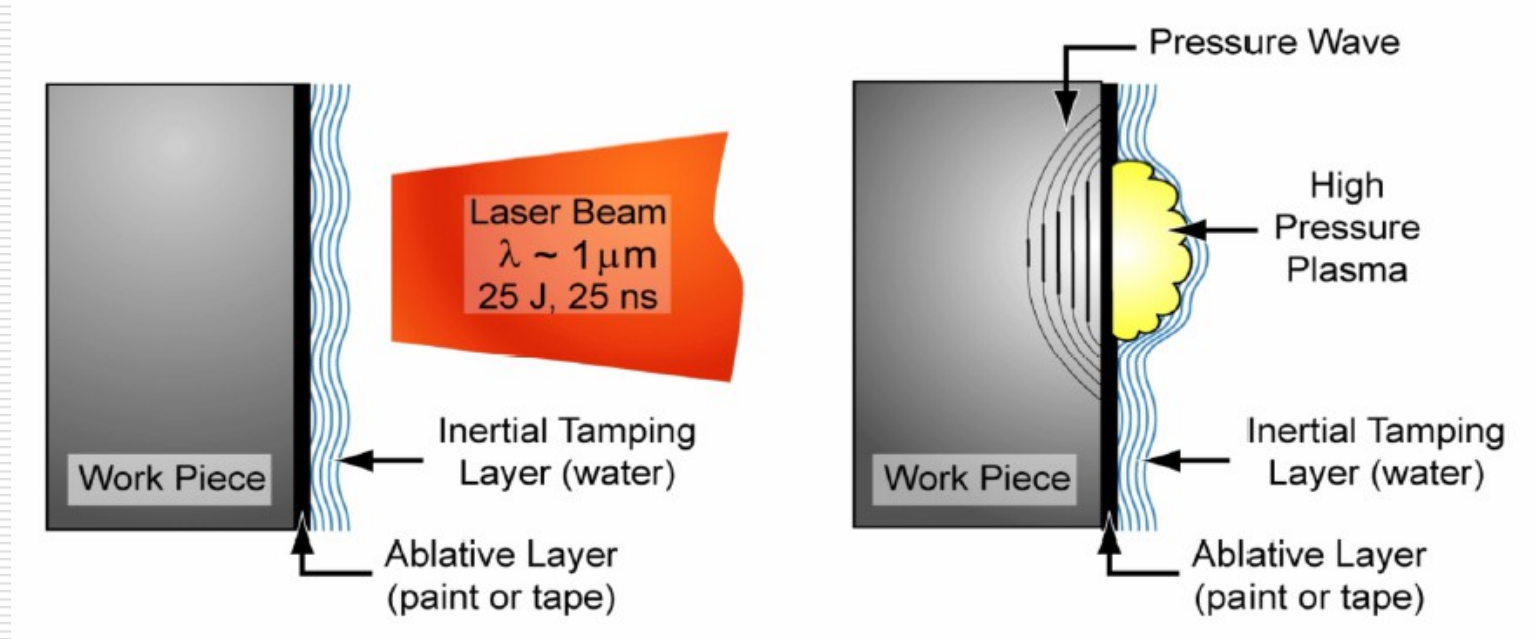
Metal Improvement Company

- 68 poboček v Evropě, Asii a S. Americe
- kuličkování, laserové povrchové kalení, tepelné zpracování, povlakování...



[16] www.metalimprovement.com

LASER PEENING



[16] www.metalimprovement.com

- zbytková tlaková napětí
 - hloubka 1 až 4 mm pod povrchem materiálu
 - zabraňují vzniku povrchových trhlin, zvyšování únavové životnosti, mez únavy, odolnosti proti korozi

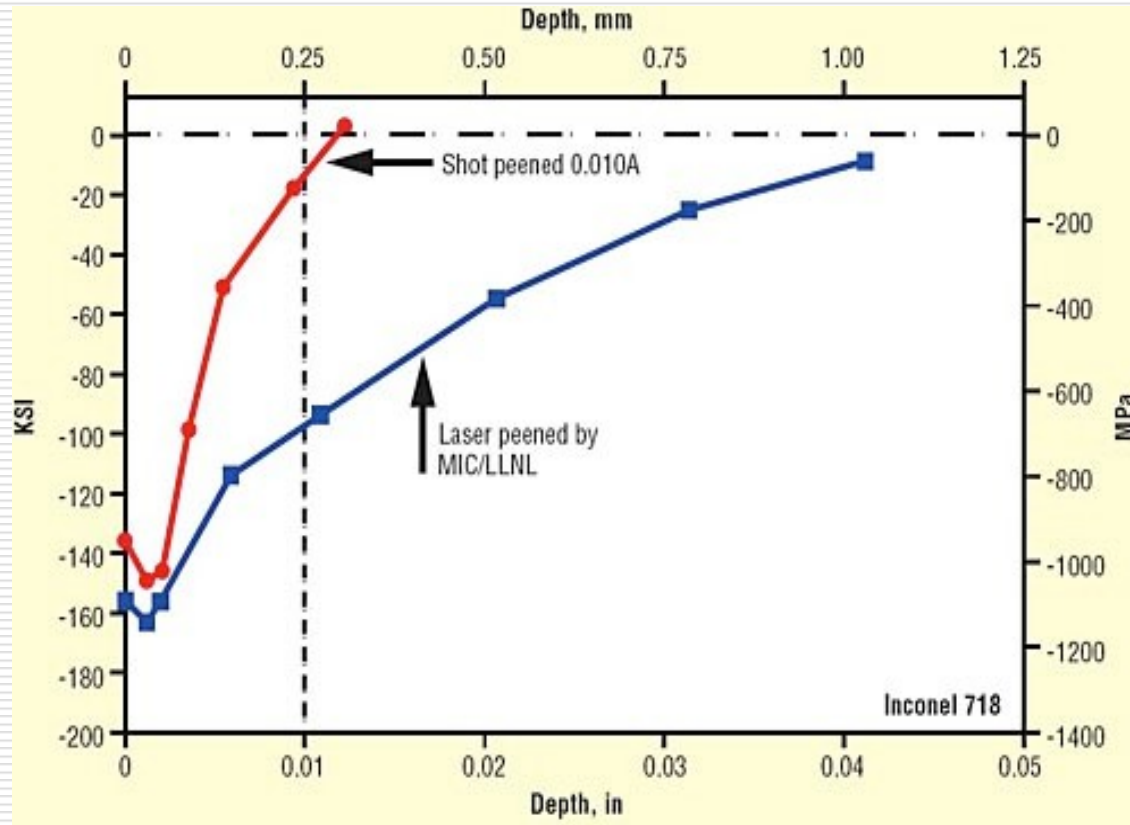
LASER PEENING

- technologii je možné aplikovat i na tepelně zpracované předměty
- letectví
- automobilový pr.
- strojní inženýrství
- loděařství
- medicína
- armáda



[16] www.metalimprovement.com

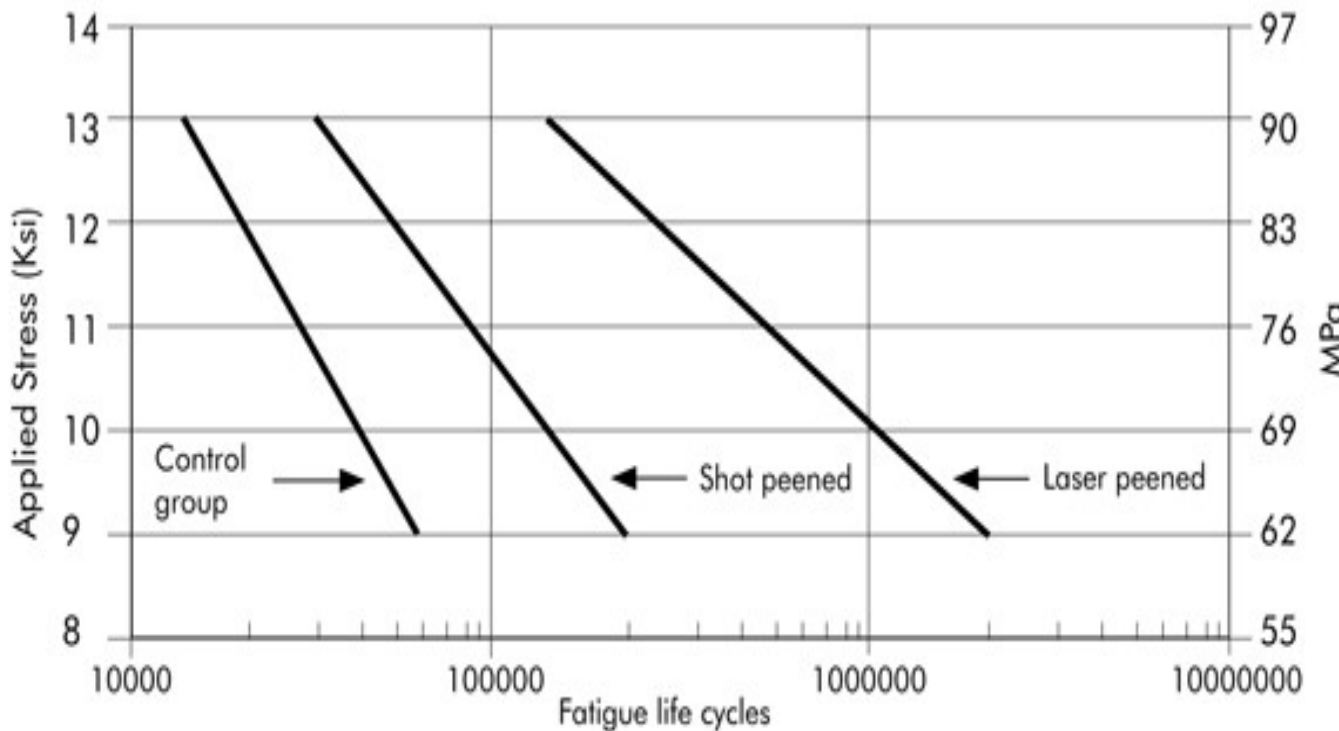
LASER PEENING



[16] www.metalimprovement.com

LASER PEENING

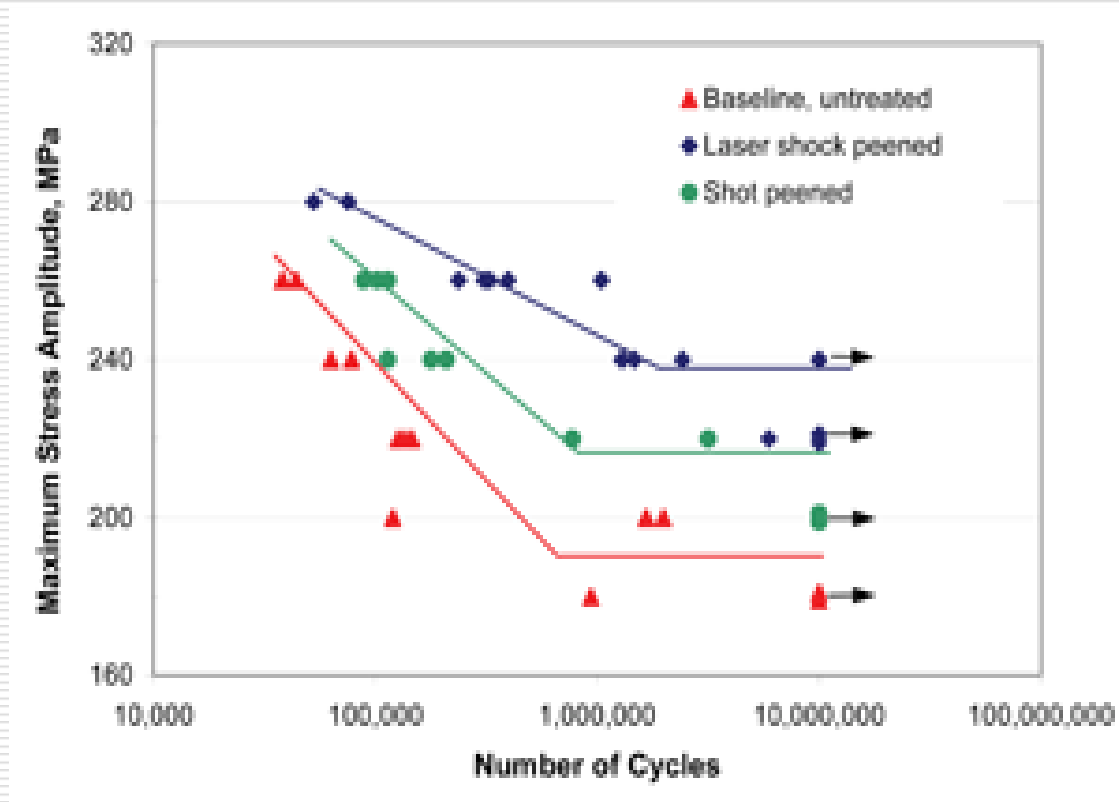
Typický laserový systém používaný pro laserové zpevňování má následující parametry:



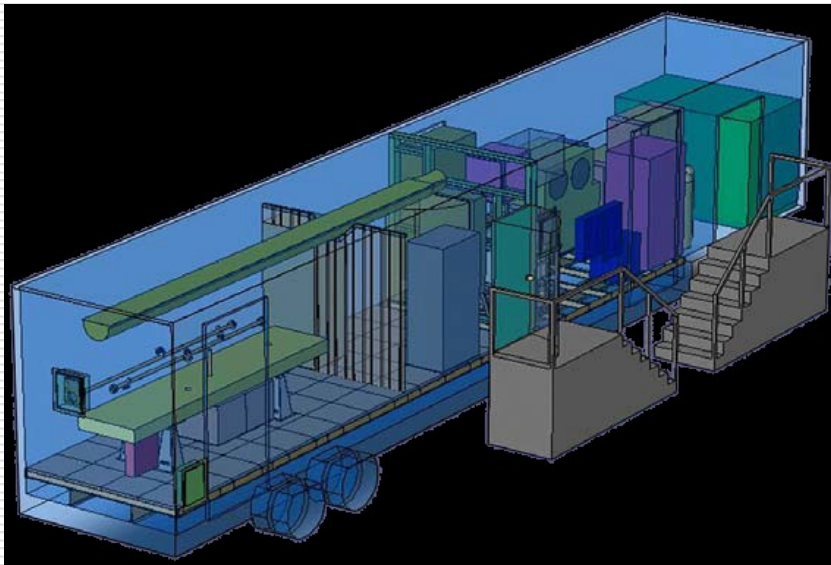
Vlnová délka laseru je
o 0,04 μ inch
Délka impulzu 10-50 ns
Energie
pulsu 50-100 joulů
Průměr paprsku 0,2 "

[16] www.metalimprovement.com

LASER PEENING



[16] www.metalimprovement.com



Děkuji za pozornost