



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Lasery v automobilovém průmyslu

RNDr. Hana Chmelíčková, SLO UP a FZÚ AV ČR

RNDr. Jaroslav Grézl, LASER-TECH, spol. s r.o.

Podpořeno z projektu OP VVV „Partnerská síť v oblasti výzkumu a vývoje zobrazovací a osvětlovací techniky a optoelektroniky pro optický a automobilový průmysl“, registrační číslo:
CZ.02.1.01/0.0/0.0/17_049/0008422.

Projektová konference ITI

Vybrané výsledky aplikované optiky v průmyslové praxi

Olomouc 6. 10. 2021

Lasery v automobilovém průmyslu - osnova

- 1) Laser jako obráběcí nástroj
- 2) Laserové řezání automobilových dílů
- 3) Laserové svařování automobilových dílů
- 4) Laserové povrchové aplikace v automobilovém průmyslu
- 5) Laserové značení v automobilovém průmyslu
- 6) Laserový 3D tisk – využití v automobilovém průmyslu
- 7) Lasery jako součástky do automobilů, senzory, měřicí technika



1) Laser jako obráběcí nástroj - princip

Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation (teoretická predikce 1916 A. Einstein, první konstrukce rubínového laseru 1960 T. Maiman)

Kvantový **generátor** koherentního monochromatického elektromagnetického **záření** v optické oblasti spektra (frekvence od $3 \cdot 10^{11}$ Hz do $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz odpovídající vlnovým délkám od **180 nm do 1 mm**)

3 základní součásti: **aktivní prostředí (médium)**, **čerpání (buzení, excitace aktivních částic)**, **rezonátor**

Názvy jednotlivých typů laserů jsou většinou odvozeny od chemického složení **aktivního média**:

Excimer = excitované dvojmolekuly vzácných plynů nebo jejich sloučeniny s fluorem (ArF), chlórem (XeCl), 190 nm až 390 nm

Nd:YAG = Yttrium Aluminum Garnet krystal dopovaný ionty neodymu, 1 064 nm

Yb:YAG = Yttrium Aluminum Garnet krystal dopovaný ionty yterbia, 1 030 nm – 1 070 nm

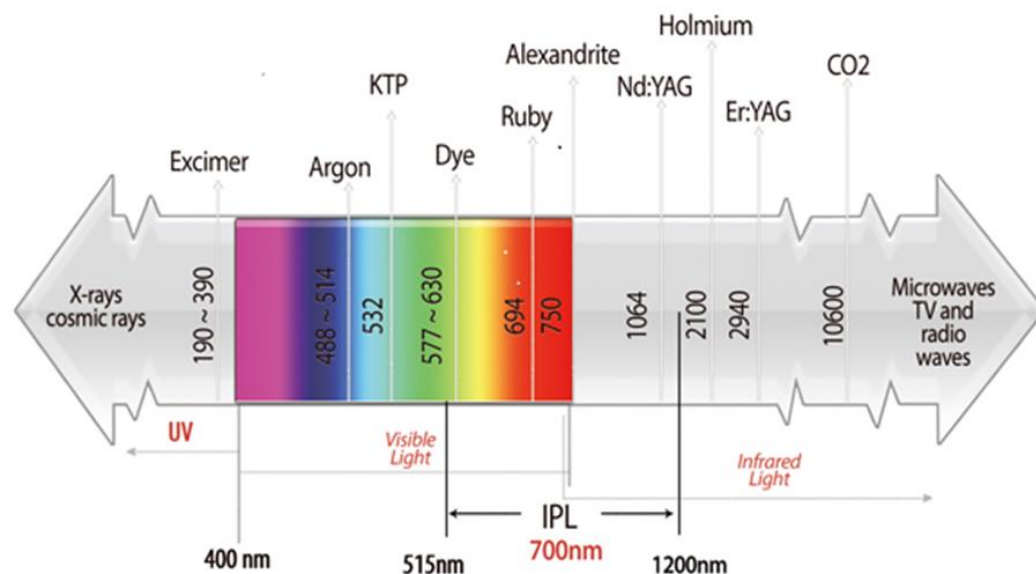
CO₂ = molekuly kysličníku uhličitého ve směsi pomocných plynů dusíku a helia, 10 600 nm

Dye lasery (barvivové) = roztoky organických barviv ve vodě, alkoholech (VIS)

Fiber laser – vláknové lasery = skleněné optické vlákno dopované ionty yterbia, erbia (2940 nm), thulia (2 000 nm), ...

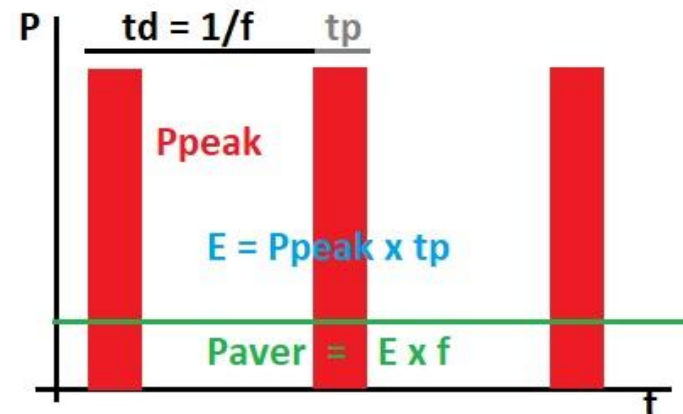
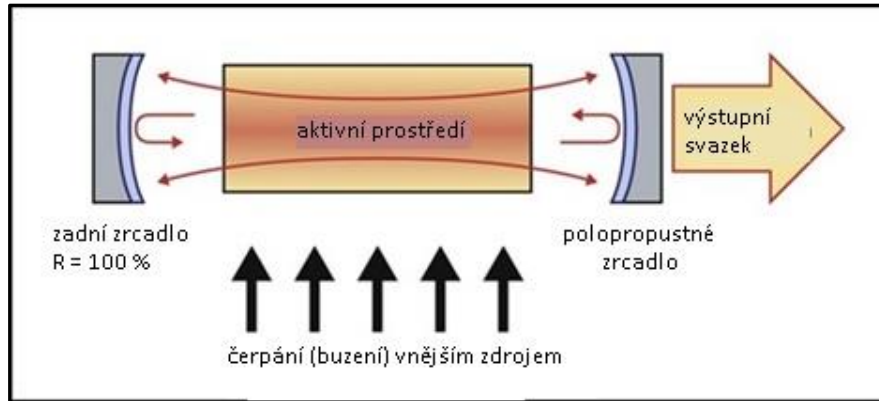
Laserové diody /diodové lasery = páry elektron – díra ve vybraných typech polovodičů,

(405 nm až 2700 nm, v průmyslu 800 nm až 980 nm)



1) Laser jako obráběcí nástroj - princip

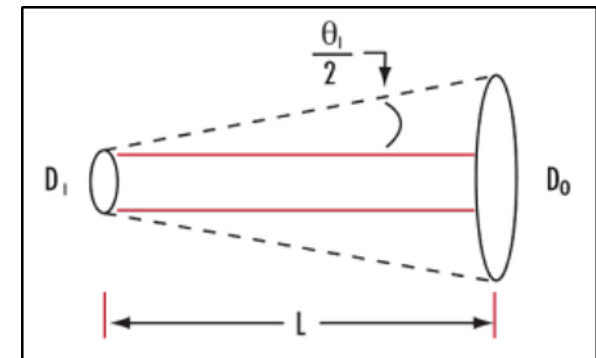
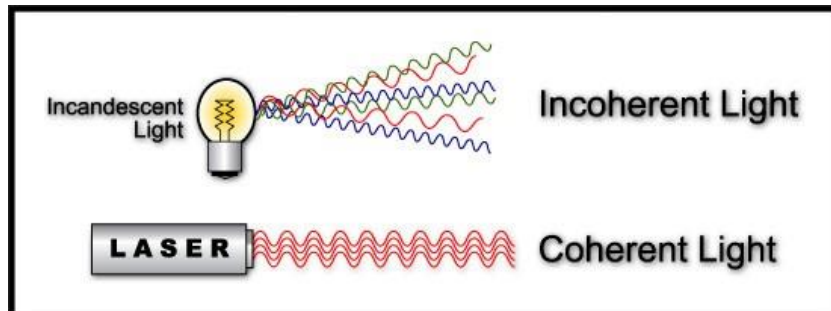
Optický rezonátor - obecně tvořen dvěma odraznými plochami (zrcadly) o odrazivosti R_1 (zadní zrcadlo 100 %), R_2 (výstupní zrcadlo 90 % - 98 %), poloměry křivosti r_1 a r_2 , vzdáleností L a průměrem D , respektive délkami a, b , podmínka pro délku rezonátoru: $2L = n \cdot \lambda = n \cdot c / f$, zesílení a filtrace záření



Způsob čerpání aktivního prostředí – elektrická energie (výboj, DC proud, vysokofrekvenční proudy), světelná (kryptonová nebo xenonová výbojka, laserové diody, RTG záření, záření dalšího laseru), chemická reakce

Rozdělení laserů podle režimu generace - **kontinuální (CW)** nebo **pulsní** (délky pulsu řádově **milisekundy, nanosekundy, pikosekundy** nebo **femtosekundy**, energie E je dávkována ve frekvenci f do limitu průměrného výkonu $P = E \times f$, určující je výkon v pulsu $P_{peak} = E/t$

Vlastnosti laserového záření - monochromatické resp. úzká spektrální čára (+/- 5 nm), časově a prostorově koherentní – záření má stejný směr, fázi a amplitudu, nízká rozbíhavost svazku – divergence celého úhlu θ v rozmezí 0,5 mrad až 10 mrad = 0,02° - 0,57°



1. Laser jako obráběcí nástroj – technické provedení

Excimery (XeCl)



CO₂ TruFlow



CO₂ slab laser



Vláknový laser



Pevnolátkový laser (diskový)



Polovodičový laser



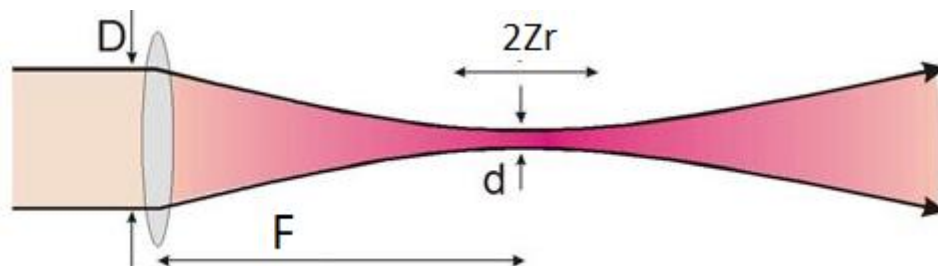
1. Laser jako obráběcí nástroj – pracovní hlava

Fokuse laserového svazku pro dosažení vysoké hustoty výkonu:

Průchodem přes čočku/soustavu čoček, omezeno do výkonu 5 kW,

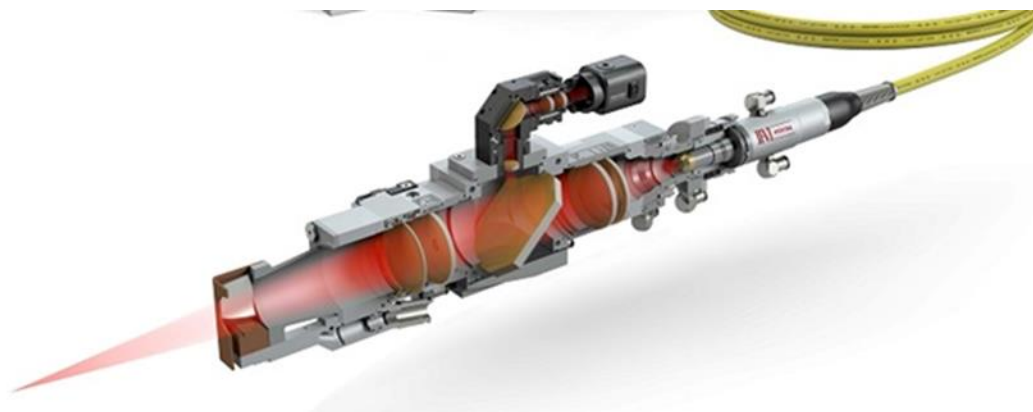
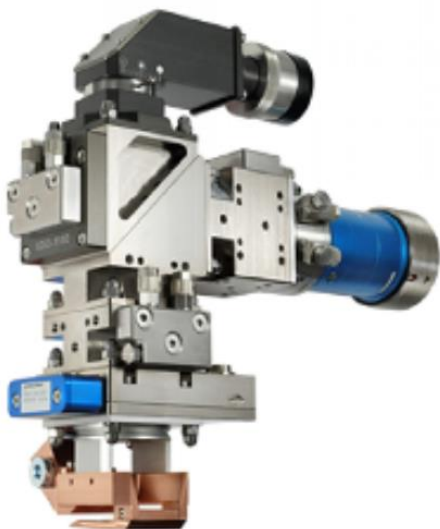
Odrazem od parabolického zrcadla, pro vyšší výkon nutno použít vyleštěné zrcadlové plochy, materiály měď, zlato, molybden

Průměr fokusovaného svazku d : závisí na průměru vstupujícího svazku D , ohniskové vzdálenosti F a kvalitě svazku M^2



Laserové pracovní hlavy:

Nosiče fokusační optiky s dalšími prvky pro zaměřování obrobku, on-line sledování procesu, tryskou pro pracovní plyn, automatickým nastavením vzdálenosti od povrchu obrobku, ochranným skličkem proti zplodinám, apod.



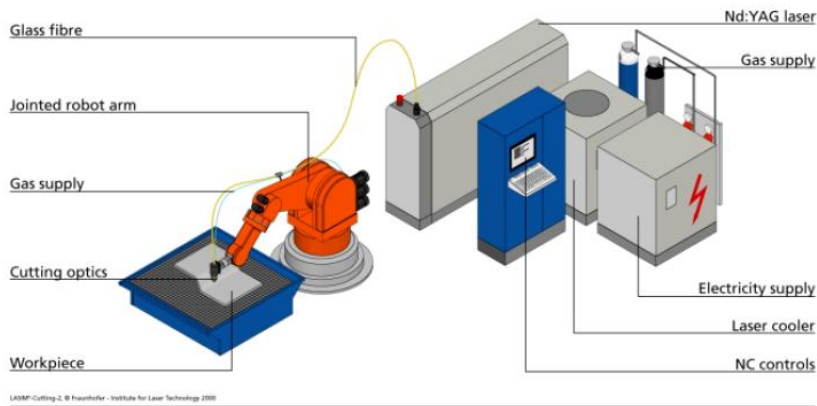
1. Laser jako obráběcí nástroj – CNC systém

Základní sestava: laser, vedení laserového svazku zrcadly nebo vláknem, pracovní hlava s fokusační čočkou, pracovní plyn, polohovací systém XYZ (U,W) + CNC řízení, fixace obrobku

Bezpečnostní prvky: odsávání zplodin, ochranná skla, kompletní kryty, optické alarmy

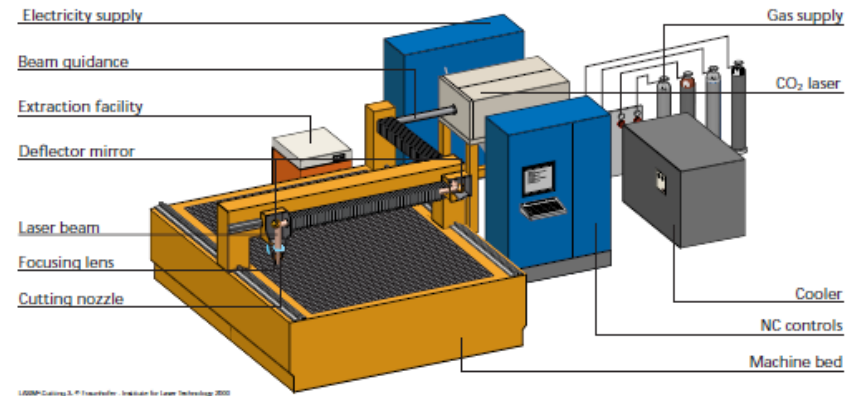
Ochranné pracovní pomůcky: certifikované brýle s adekvátním filtrem, reflexní rukavice,

Structure of cutting plant with fibre-coupled Nd:YAG laser



LASMP-Cutting 2, © Fraunhofer Institute for Laser Technology 2008

Structure of flat-bed CO₂ laser cutting plant

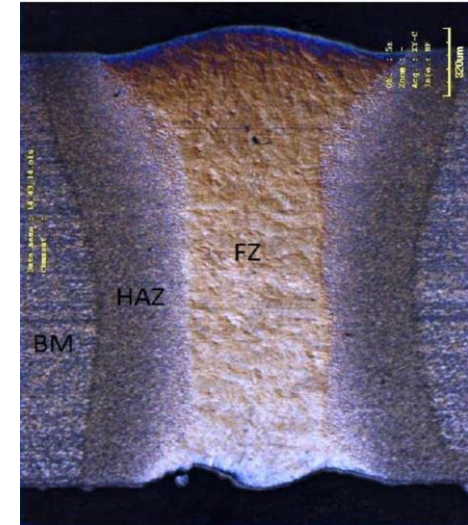
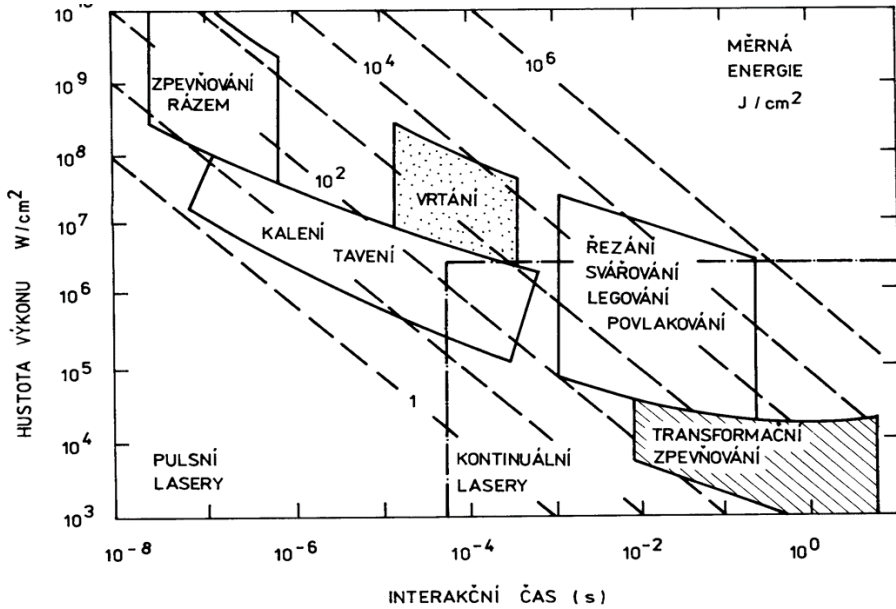


LASMP-Cutting 3, © Fraunhofer Institute for Laser Technology 2008



1. Laser jako obráběcí nástroj - technologie

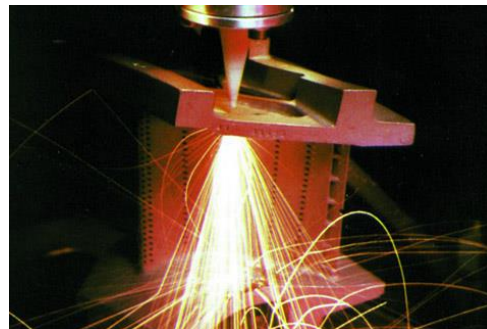
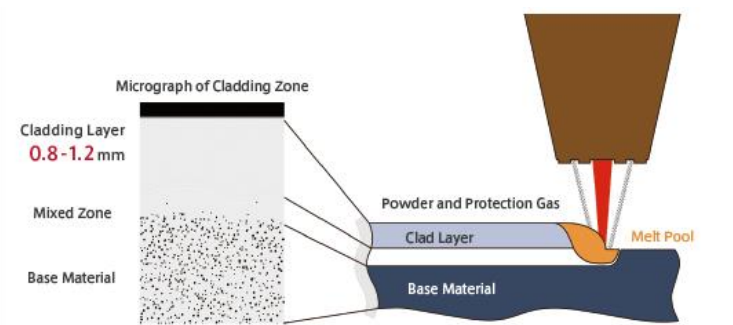
Interakce laserového záření s materiálem – **absorpce** (pohlcení) záření v materiálu, přeměna optické energie v tepelnou, lokální zvýšení teploty podle výkonu laseru na hodnoty kalení, tavení nebo vypařování, šíření tepla. UV záření a ultra krátké pulsy přímo ionizují materiál – „studená ablace“ s minimálním ohřevem materiálu



Bez změny skupenství : pouze změna krystalické struktury (transformační zpevňování = kalení, laser peening – zpevňování tlakem plazmatu), dochází k mírné prostorové deformaci

Kapalná fáze: cladding - plátování, alloying - povlakování, surface melting - přetavování povrchu, heat conduction welding - konduktivní svařování, fusion cutting - tavné řezání, 3D tisk z kovového prášku, drátu

Plýnná fáze: sublimační řezání, vrtání (drilling), hloubkové „keyhole“ svařování, ablace, UV - technologie)



2. Laserové řezání automobilových dílů - princip

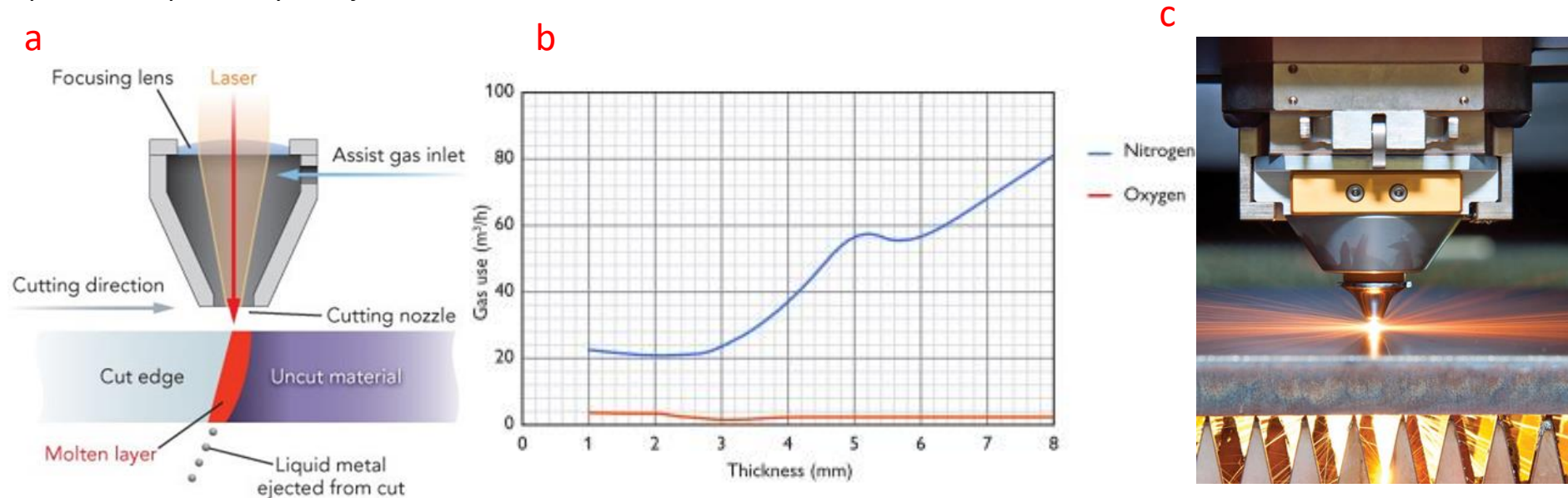
Princip laserového řezání: natavený a částečně odpařený materiál je vyfukován ze spáry řezu koaxiálním plynem, tryska se pohybuje ve vzdálenosti 0,5 mm až 1,5 mm nad povrchem, ohnisko se polohuje na povrch nebo do 1/3 hloubky

Oxidační řezání: kyslík jako asistenční plyn o nižším tlaku (2 - 10) bar, exotermická reakce s železem zvyšuje dodanou energii – větší tloušťky až 40 mm, vyšší rychlosti, ale oxidovaná hrana řezu, výhodné pro nízkouhlíkové oceli a titanové slitiny

Fúzní (tavné) řezání : natavený materiál je vyfukován vysokotlakým inertním plynem (Ar, N) o tlaku (10 – 50) bar, čistý řez, vhodné pro nerez oceli a barevné kovy

Sublimační řezání: dostatečný výkon pro odpaření/vyhoření materiálu ze spáry řezu, vhodné pulsní lasery, vhodné pro nekovové materiály (dřevo, plasty, keramika, sklo, papír, kůže – CO₂ laser) , ale nezbytné odsávání toxických výparů

Polohovací zařízení: portálový XYZ systém pro 2D řezání, robotický víceosý systém pro 3D řezání, rošt pro podporu obrobku s prostorem pro záchyt okují, účinné odsávání



- a) schéma laserového řezání, b) rozdíl ve spotřebě plynů O₂ a N₂ při řezání nízkouhlíkové oceli rostoucí tloušťky od 1 mm do 8 mm, c) snímek z procesu řezání, část okují odlétá v rovině povrchu, pod tryskou viditelné plasma – ionizované páry kovů

2. Laserové řezání automobilových dílů - aplikace

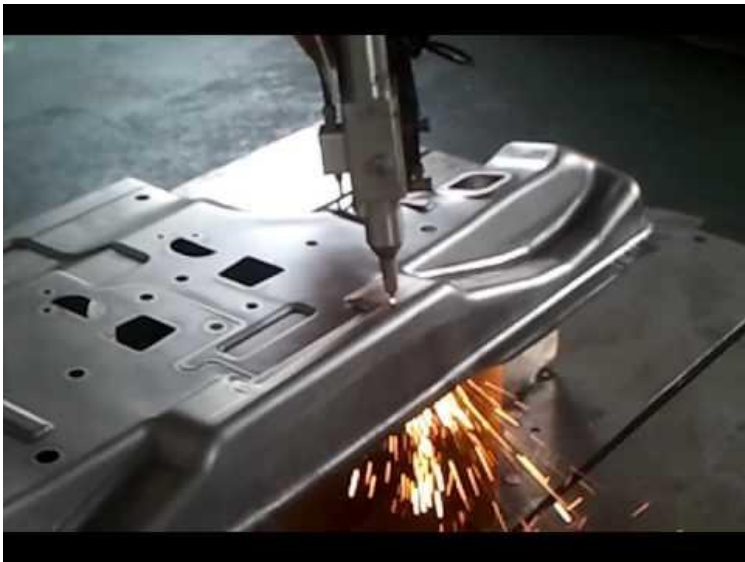
Vývoj a výroba prototypů nových vozů - díly jsou vyrobeny okamžitě bez potřeby přestavování obráběcího nástroje, případné změny jsou provedeny jen změnou CNC programu, nový výrobek tak rychleji nastupuje na trh (obr. a)

Modifikace karosérií - některé modely aut mají společný podvozek, ale několik malosériových variant, které se liší počtem funkčních otvorů v karosériích, tyto jsou rychle dořezány laserem.

Řezání náhradních dílů - operativně lze vyrobit opotřebované náhradní díly v malých sériích a nevytvářet zbytečné skladové zásoby (obr. b)

Řezání plastových a textilních dílů - laser umožňuje rychlé řezání dílů airbagů s maximálním využitím materiálu, přitom okraje jsou zataveny a netřepí se (obr. c)

a



b



c



a) řezání funkčních otvorů do prolisovaného dílu, b) náhradní díl dveří automobilu, další tvary na (<https://www.tradewheel.com/p/laser-cutting-service-auto-car-sheet-219284/>) c) řezání dílů airbagů CO₂ laserem

2. Laserové řezání automobilových dílů – LASER-TECH, spol. s r.o.

Partner projektu - firma LASER-TECH, spol. s r.o. se sídlem Vejdovského 1102/4a, 779 00 Olomouc (* 1991) nabízí **komplexní zpracování plechů** z konstrukčních uhlíkových a nízkolegovaných ocelí do tloušťky 25 mm, korozivzdorných (nerez) ocelí do tloušťky 12 mm, slitin hliníku do tloušťky 12 mm a mosazi do tloušťky 12 mm

Řezání laserem - laserové řezání plechu v rovině na strojích od firmy TRUMPF (CO₂ lasery a diskový laser)

Finalizace povrchu laserových výpalků - strojní broušení povrchu a odjehlování na stroji od firmy WEBER a omílání na stroji od firmy RÖSLER

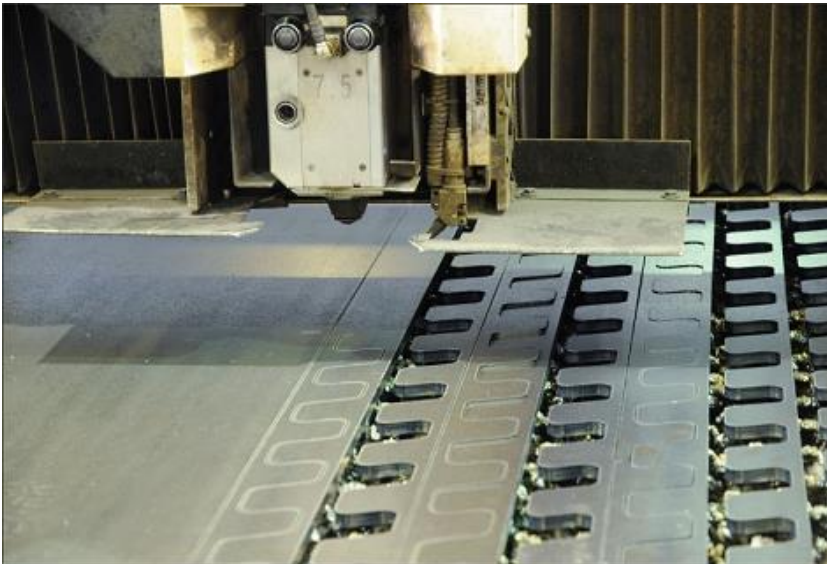
CNC ohraňování – ohýbání na CNC ohraňovacích lisech od firmy TRUMPF

Svařování MIG/MAG a WIG (TIG) - svařování za použití svařovacích agregátů od firmy FRONIUS

Dokončovací operace - vrtání a závitování, montáž spojovacích prvků

Popis a značení výrobků - laserový popisovací systém od firmy TRUMPF a pneumatická mikroúderová propisovačka od firmy PROPEN

Povrchové úpravy - povrchové úpravy širokým spektrem technologických procesů

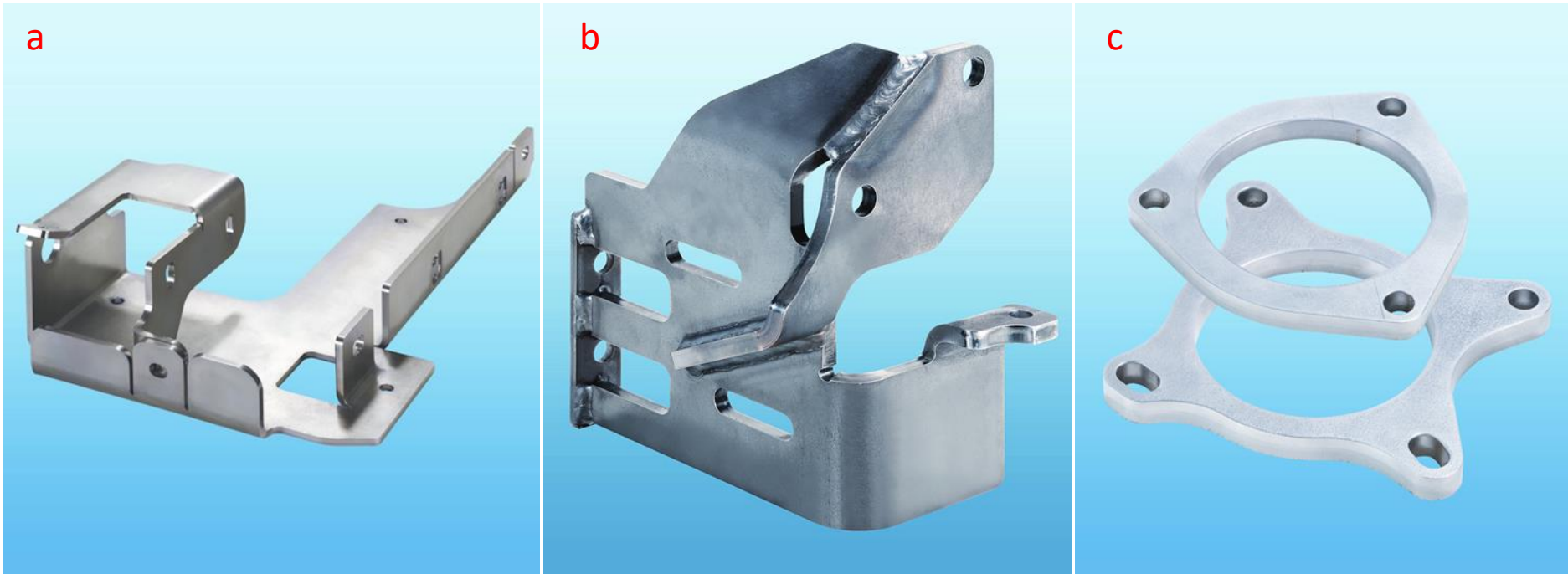


2. Laserové řezání automobilových dílů – LASER-TECH, spol. s r.o.

Díly pro stavební stroje, operace: laserové oxidační řezání (CO₂ laser), ohraňování na lisu, povrchová úprava galvanickým zinkem a chromátem. Základní materiál je uhlíková ocel o tloušťce 5 mm (obr. a)

Díly pro stavební stroje, operace: laserové oxidační řezání (CO₂ laser), ohraňování na lisu, svařování elektrickým obloukem aparaturou MIG/MAG. Základní materiál je uhlíková ocel o tloušťce 8 mm a 5 mm (obr. b)

Příruba pro výfukové potrubí motoru, operace: laserové tavné řezání, mechanické srážení hran. Základní materiál je nerezová ocel o tloušťce 8 mm (obr. c)



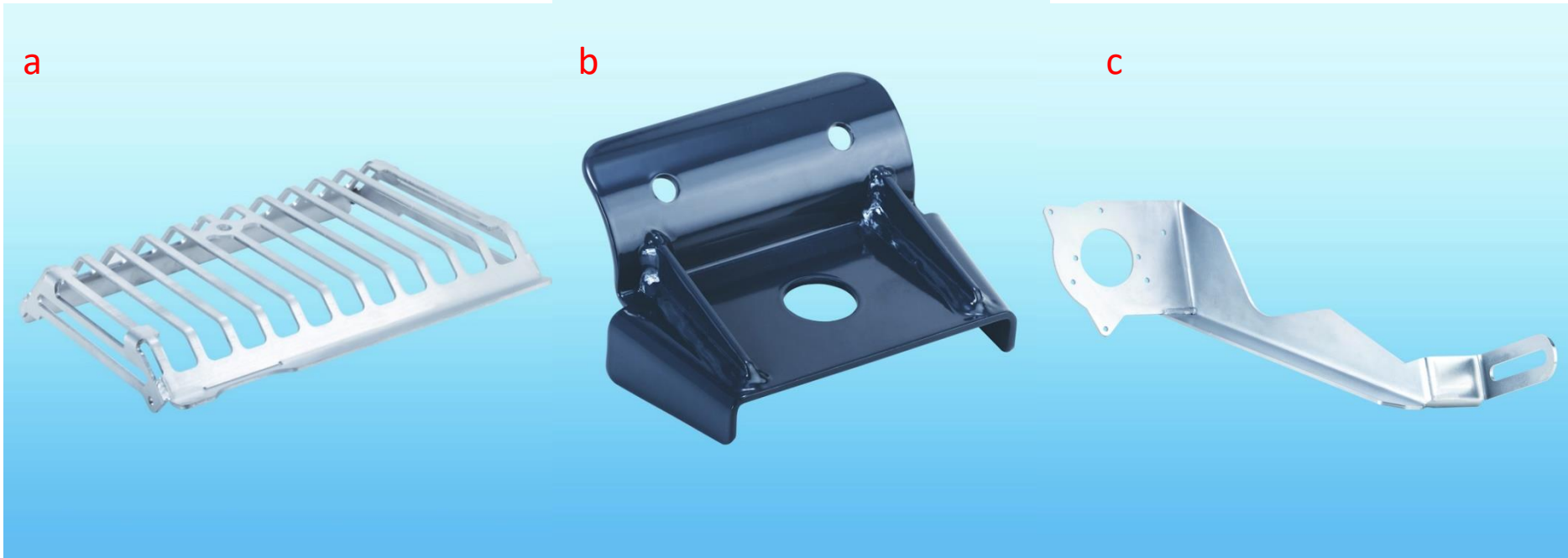
a) finální podoba dílu pro stavební stroje z uhlíkové oceli, b) finální podoba svařeného dílu pro stavební stroje z uhlíkové oceli, c) příruba pro výfukové potrubí motoru z nerezové oceli

2. Laserové řezání automobilových dílů – LASER-TECH, spol. s r.o.

Kryt pro stavební stroje, operace: laserové tavné řezání (diskový laser), mechanické srážení hran, ohraňování na lisu, svařování elektrickým obloukem aparaturou TIG. Základní materiál hliníková slitina DURAL o tloušťce 3 mm (obr. a)

Díly pro stavební stroje, operace: laserové oxidační řezání (CO₂ laser), ohraňování na lisu, svařování elektrickým obloukem MIG/MAG, povrchová úprava komaxitem (práškový lak). Základní materiál je uhlíková ocel o tloušťce 3 mm (obr. b)

Díl pro stavební stroje, operace: laserové tavné řezání (diskový laser), mechanické srážení hran, ohraňování na lisu, svařování elektrickým obloukem aparaturou MIG/MAG. Základní materiál je nerezová ocel o tloušťce 2,5 mm (obr. c)

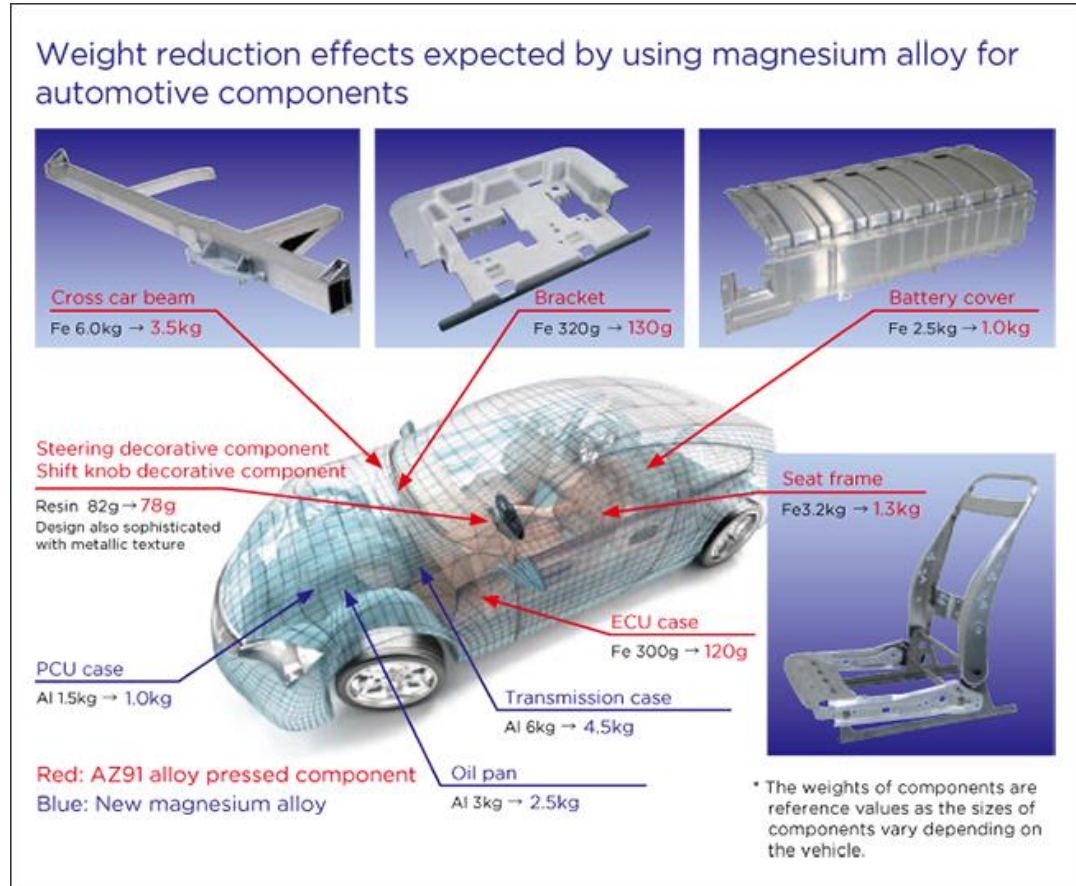


a) finální podoba krytu pro stavební stroje z hliníkové slitiny DURAL, b) finální podoba svařeného dílu pro stavební stroje z uhlíkové oceli s povrchovou úpravou, c) finální podoba svařeného z nerezové oceli

2. Laserové řezání automobilových dílů

Řezání plastových a textilních dílů - obdobně jako u kovů, při vývoji prototypů lze operativně měnit CNC programy pro řezání dílů pro autosedačky (kožené a textilní potahy, výplně ze „spacer fabrics“ - vícevrstvá polymerová 3D tkanina) výplně dveří, koberečky, těsnění apod.

Řezání lehkých kovů - z ekologického hlediska je stále zvyšován podíl lehkých kovů (hliníkové a hořčíkové slitiny, uhlíkové kompozity) na celkové konstrukci automobilu, které se ale při obrábění mechanickými nástroji kroučí a deformují - laserové řezání problém eliminuje



- a) profil vícevrstvé polymerové tkaniny a rozdíl mezi mechanickým a laserovým řezáním, b) možnosti snížení hmotnosti automobilu výměnou ocelových a hliníkových dílů slitinami hořčíku

3. Laserové svařování automobilových dílů

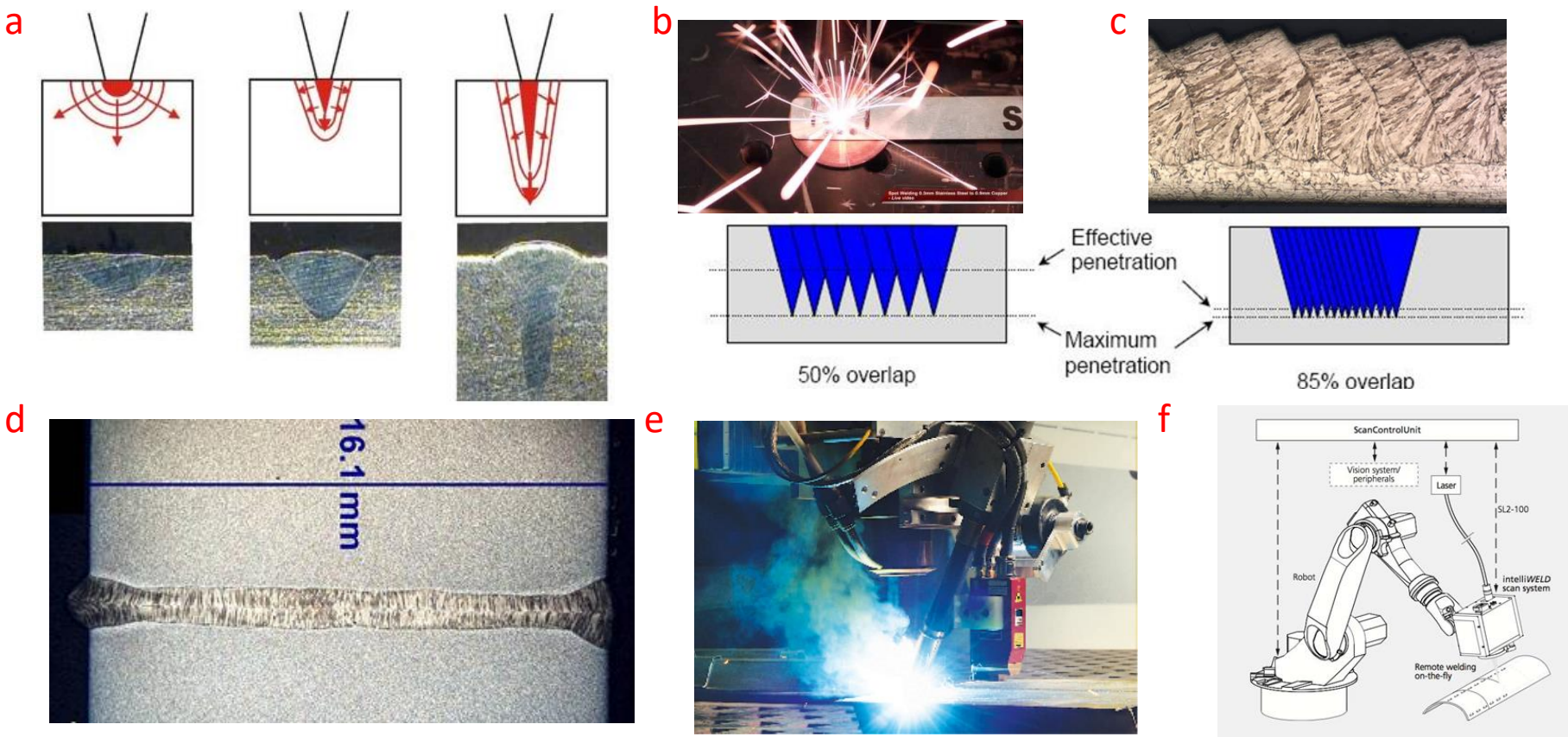
3 módy laserového svařování podle dosažené teploty: vedením tepla (T_{melt}), částečně a hloubkové penetrační (T_{vap})

Bodové svařování pulsním laserem: izolované stopy nebo překrytí stop od 50 % do 90 %, menší tloušťky plechů

Spojité svařování kontinuálním laserem: hluboký a úzký svar s poměrem hloubka/šířka až 20 : 1

Výhody LW proti klasickým metodám: nižší tepelné ovlivnění obrobku, robotické opracování nedostupných míst, vyšší rychlost, větší hloubka penetrace, bez nutnosti přípravy svaru (V drážka), většinou bez přídavného materiálu

Nevýhody LW: vysoké rychlosti ochlazování (10^3 K/s) způsobí zakalení svarového kovu i části tepelně ovlivněné zóny, nutnost následného žíhání, nebezpečí mikrotrhin, přísné tolerance seřizení svařovaných dílů, vysoká vstupní cena laseru

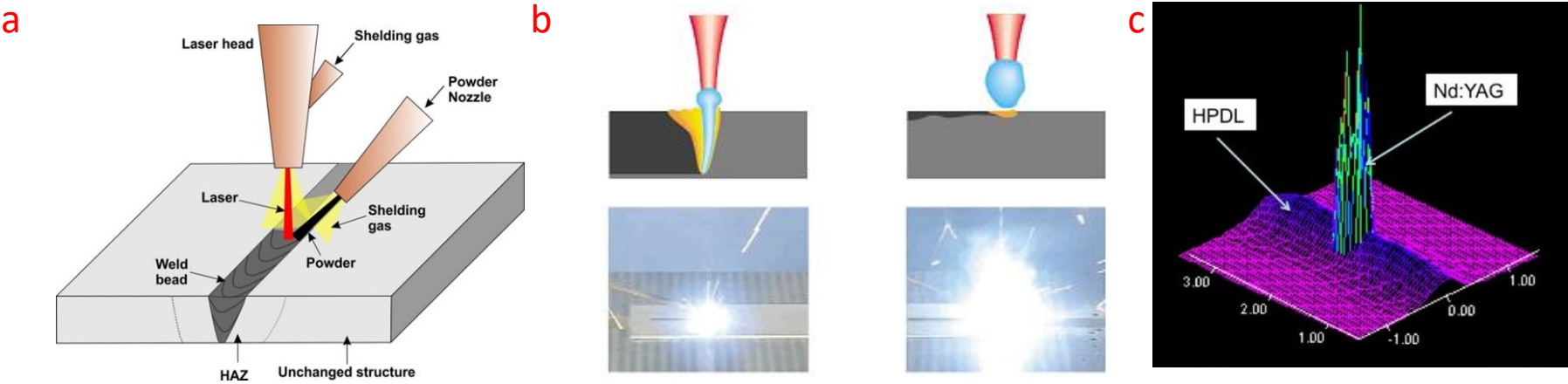


a) módy laserového svařování, b) bodové svařování nerez oceli na měď, c) srovnání překrytí laserových stop, podélný řez svarem oceli AISI304
d) svar oceli AISI 316L výkonem 15 kW IPG vláknového laseru, e) trasování lineárního svaru, f) robotické 3D svařování

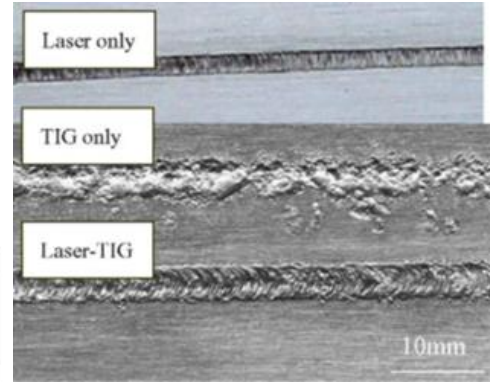
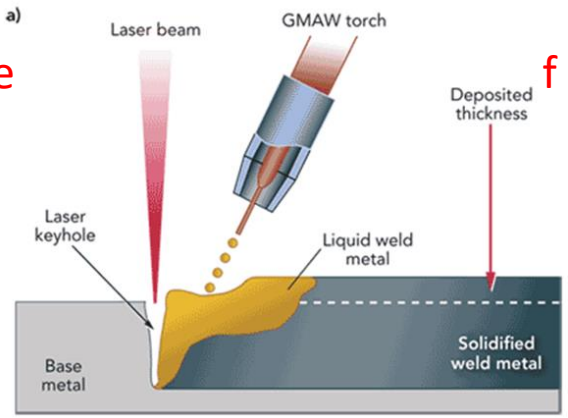
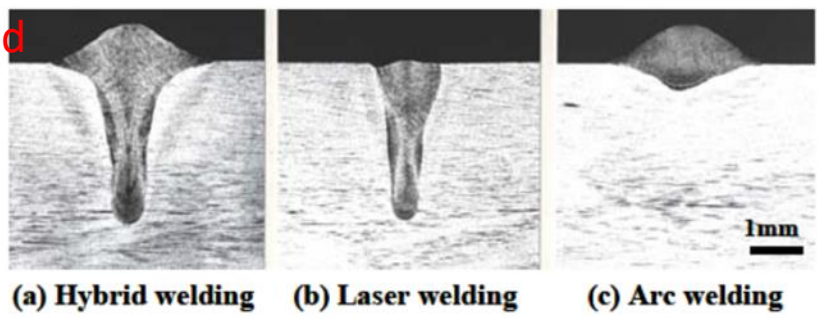
3. Laserové svařování automobilových dílů

Funkce ochranného plynu: koaxiální nebo boční vedení, ochrana optiky a svarového kovu, odfuk plazmatu (argon, helium, dusík, speciální směsi pro laserové svařování)

Hybridní svařování se dvěma různými vlnovými délkami: např. Nd:YAG 3 kW, $D_{\text{foc}} = 0,45 \text{ mm}$, $Q = 19 \text{ kW}\cdot\text{mm}^{-2}$ a diodový 3kW, $D_{\text{xyfoc}} = 0,9 \times 3,7 \text{ mm}$, $Q = 0,9 \text{ kW}\cdot\text{mm}^{-2}$, který podporuje absorpci záření a stabilizuje proces svařování



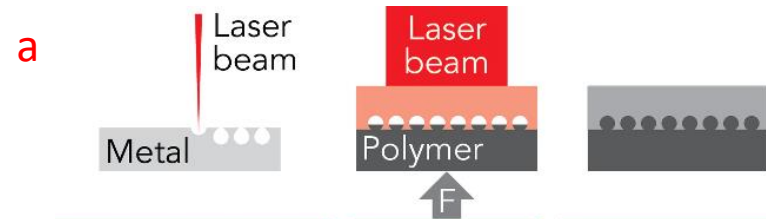
Hybridní svařování s elektrickým obloukem (MIG/MAG, TIG, PALW) - toleruje větší mezery mezi svařenci, např. u pozinkovaných ocelí, el. oblouk odstraňuje kyslíčnky kovů a zinek z povrchu svařenců, anodová stopa oblouku urychlí absorpci záření



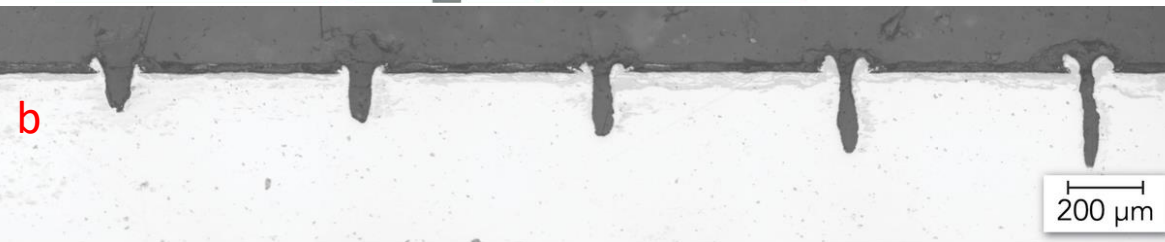
a) směry ochranného plynu, b) normální plazma a pohlčení záření v plazmatu, c) intenzitní profil hybridního svazku, d) srovnání jednotlivých technik na příčných řezech svary, e) schéma uspořádání hybridního svařování s tavící se elektrodou, f) svary hořčkové slitiny - srovnání

3. Laserové svařování automobilových dílů

Hybridní svary kovů a plastů - příprava drážek v kovu postupným skenováním, následný ohřev kovu diodovým laserem

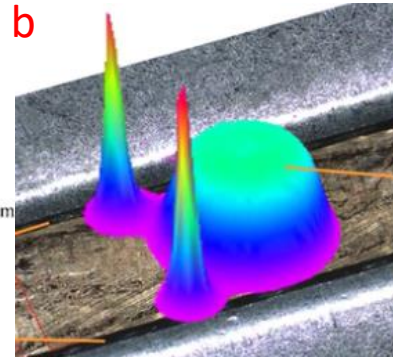
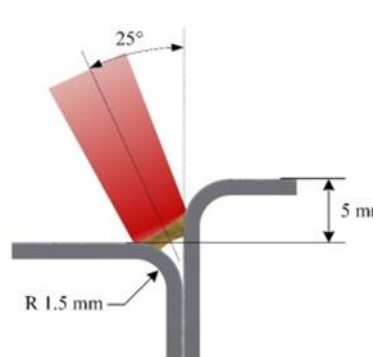
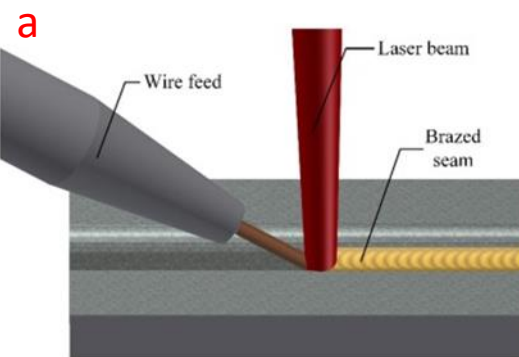


c



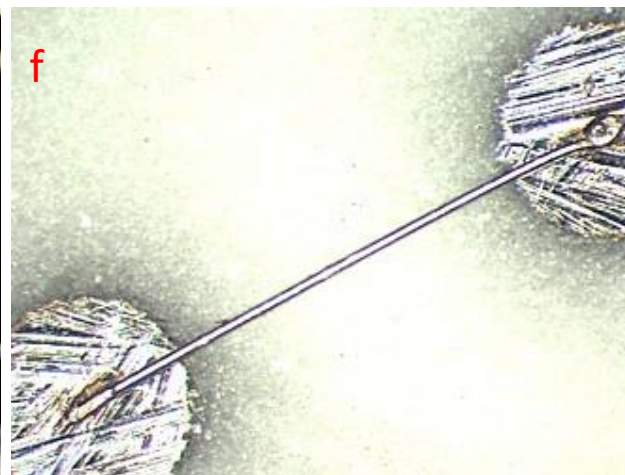
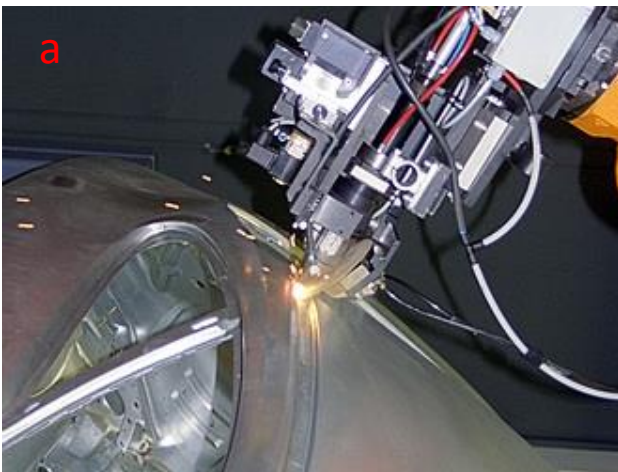
a) schéma dvoufázového procesu spojování termoplastu a kovu, b) postupné prohlubování drážek v kovu, c) výztuž z polymeru, zesíleného skleněnými vlákny, ve dveřích automobilu

Laser brazing - tvrdé pájení s mosazným drátem bez natavení základního materiálu, difuze pájky přes spojované plochy, diodový laser s obdélníkovým svazkem, využití pro pájení karosářských dílů - inovace **Trifocal laser brazing** - rozdělení svazku na hlavní – pájecí a dva boční ablační pro odstranění vrstvy zinku z povrchu plechu ve dvou rovnoběžných drážkách, výsledek – nedochází k rozstříku pájky a spoj udržuje konstantní šířku



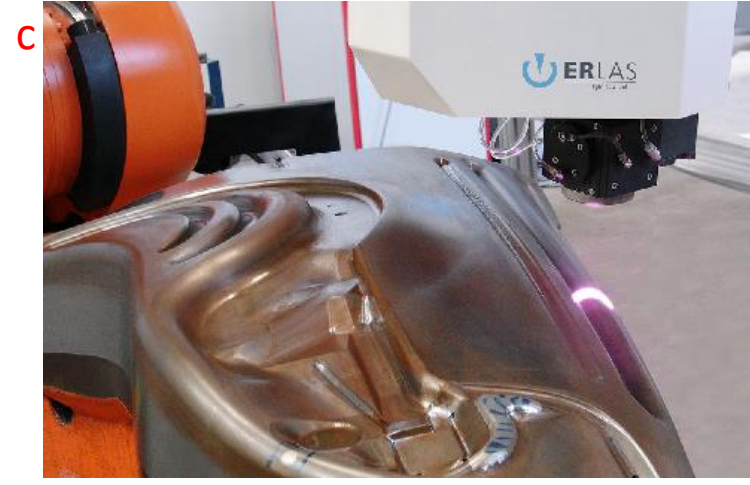
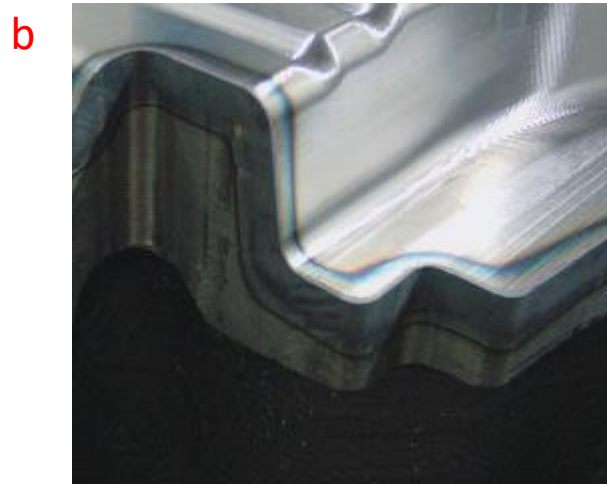
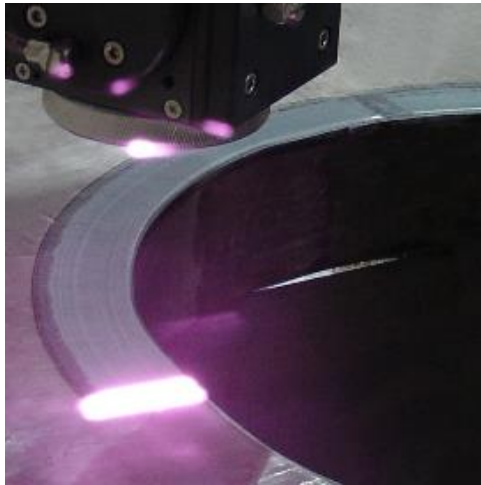
a) schéma laserového tvrdého pájení a geometrie svaru v příčném řezu, b) rozdělení intenzity v hlavním a vedlejších svazcích při metodě „trifocal laser brazing“, c) aplikace metody TLB na kufru automobilu (patent firmy IPG Photonics)

3. Laserové svařování automobilových dílů

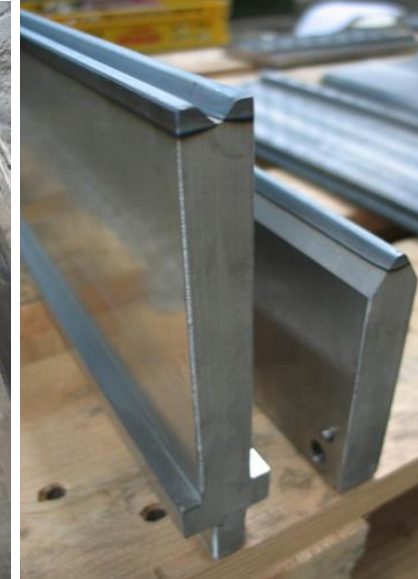
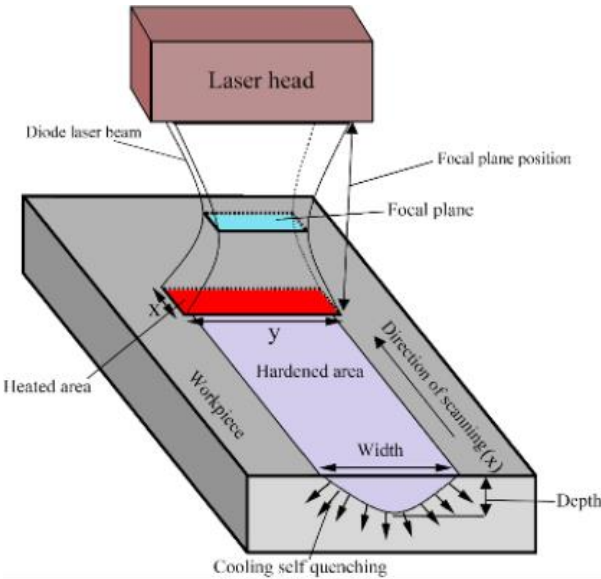


Příklady použití laserového svařování v automobilovém průmyslu: a) svařování střechy karoserie diodovým laserem, b) REMOTE svařování CO₂ laserem dveří auta, c) REMOTE skenovací svařování vláknovým laserem - dveře auta, d) svařování ozubeného kola, e) pulsní švové svařování škrtků hřídele, f) bodově navařený detonátor airbagů (0,033 mm) a další na http://www.rofin.es/wp-content/uploads/ficheros/3.0Mercados/rofin_touchpanel/automotive/index.html),

4. Laserové kalení v automobilovém průmyslu



a) proces kalení střížné hrany nástroje, b) lokální zakalení střížné hrany nástroje, c) proces kalení povrchu tvářecího nástroje



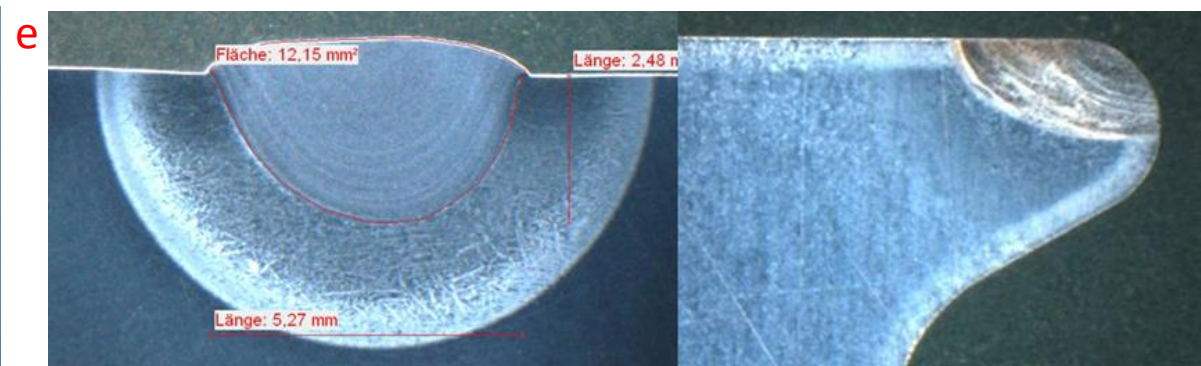
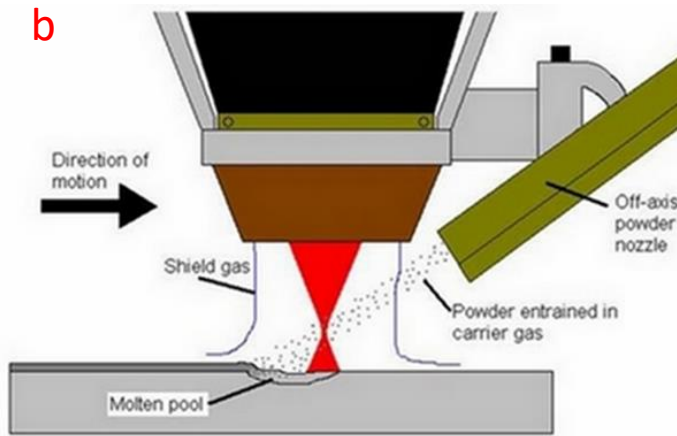
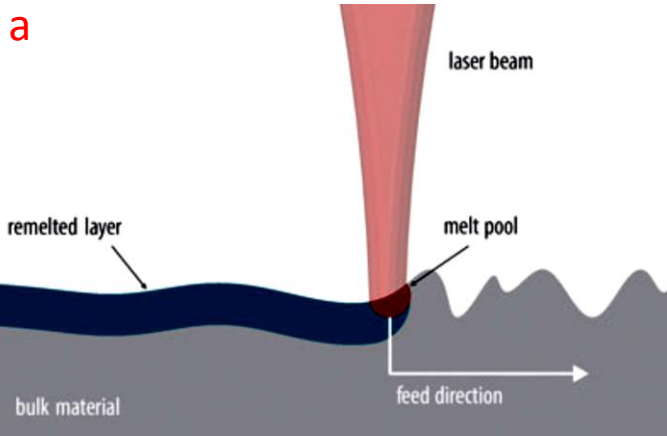
d) schéma laserového kalení obdélníkovým homogenním svazkem, e) zakalené ozubení kola, f) zakalené ohraničení výlisku v licí formě pro plastové díly Audi, g) zakalené hrany ohýbacích nástrojů (<http://www.matexpm.com/cs/mediainfo> - názorná videa)

4. Laserové leštění, legování a plátování v automobilovém průmyslu

Leštění (polishing): povrchové napětí taveniny způsobí stékání materiálu z vrchů do dolů a tím snížení drsnosti – leštění povrchu odlévacích forem

Legování (alloying): natavení povrchu s příměsí legovacího materiálu, vznik nové povrchové vrstvy ze slitiny železa a dalších prvků (Fe + Cr, Ni, S, nitridy), (C-Mn oceli + Cr, Ni, Ti, W, C),

Plátování (cladding): natavení vrstvy přídavného materiálu s velmi tenkou hraniční vrstvou. T_m podložky musí být větší než příměsi ! Forma příměsi: prášek, drát, blok. Aplikace: pre – depozice nebo vhánění prášku argonem přímo do laserové stopy pomocí koaxiální nebo boční trysky, podavač drátu



a) schéma procesu leštění přetavováním povrchu polymeru, b) schéma procesu legování a plátování, c) oprava ocelového válce legováním, d) příklad laserového leštění povrchu odlévací formy, e) příčný řez legovaným povrchem kovu a legování namáhané funkční hrany střížného nástroje

4. Laserové leštění, legování a plátování v automobilovém průmyslu

Příklady laserového plátování (cladding):

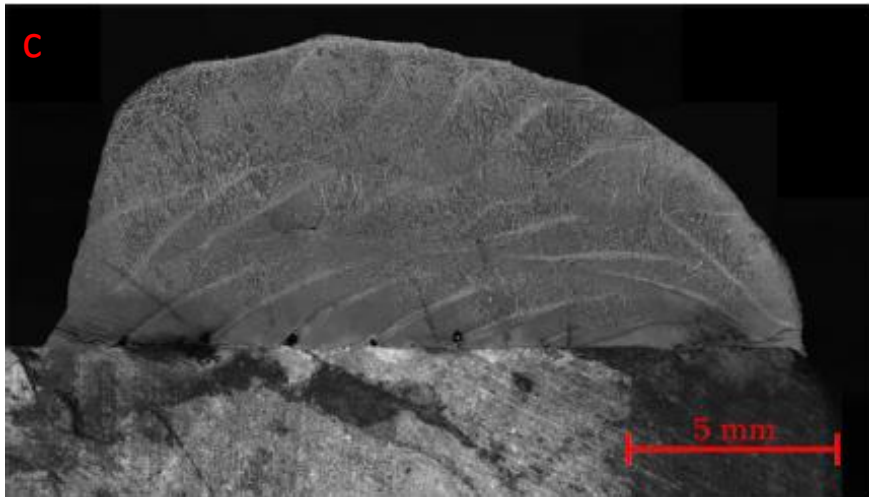
a



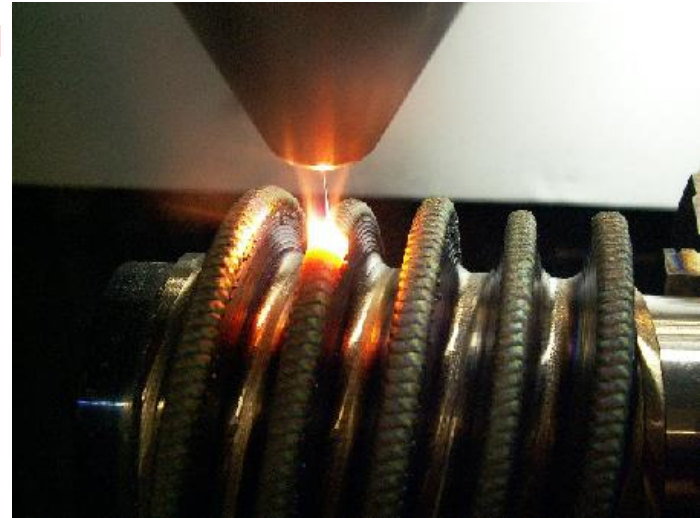
b



c



d

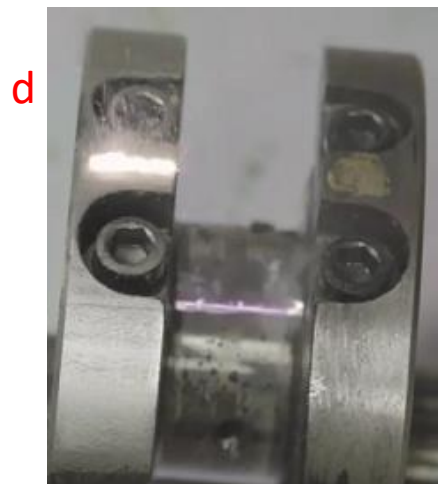
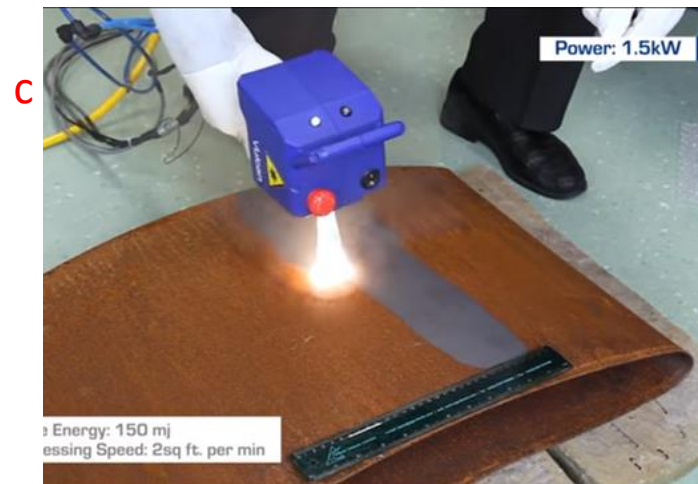
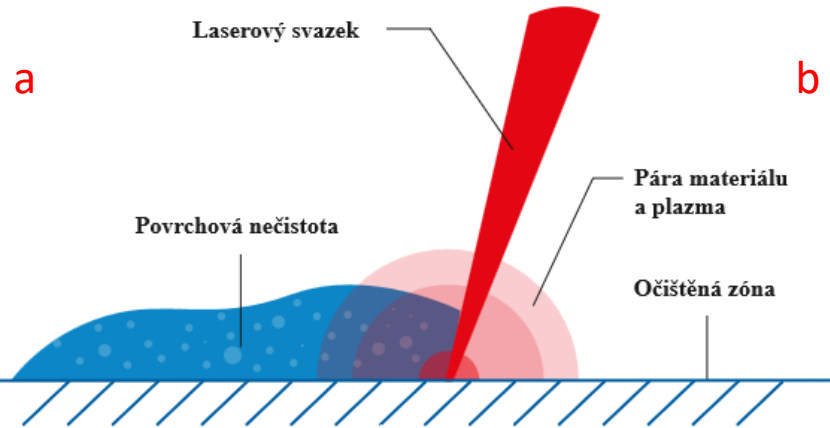


a) robotický systém s pracovní hlavou s tryskami pro vstřikování prášku, b) oprava poškozených hran tvářecí formy pro karosářský díl, c) příčný řez plátovaným zrnem prášku Ledeburit 60 na oceli postupně ve třech vrstvách (SLO) pro funkční plochy nástrojů, d) opravování ocelového vytlačovacího šroubu pro zemědělské stroje

4. Laserové čištění povrchu

Laserové čištění (cleaning): zvláštní skupina povrchové aplikace bez jakéhokoli ovlivnění materiálu, ablace (odtržení) tenké vrstvy nečistot, barvy, oleje nebo rzi, možné použít vodu (laserové parní čištění). Využití pro povrchy kovových licích forem, plechů a nástrojů, stavebních a uměleckých objektů, apod., při opravách automobilových dílů

Vhodné lasery: Q-switch lasery (puls 100 ns, vysoký vrcholový výkon), linearizovaný skenovací svazek, ruční nebo robotický pohyb, mobilní aparatura nebo integrace do výrobní linky



a) schéma procesu laserového čištění, b) čištění turbodmychadla, c) odstraňování rzi před lakováním nebo svařování, d) odstraňování nečistot a oleje z povrchu vačkové hřídele, e) čištění plochy licí formy pro gumový díl (<https://www.youtube.com/watch?v=JMpXNxUQIMQ>)

5. Laserové značení v automobilovém průmyslu

Gravírování: povrch narušen, trvalé odpaření materiálu, dno drážky je obvykle oxidované a natavené (a)

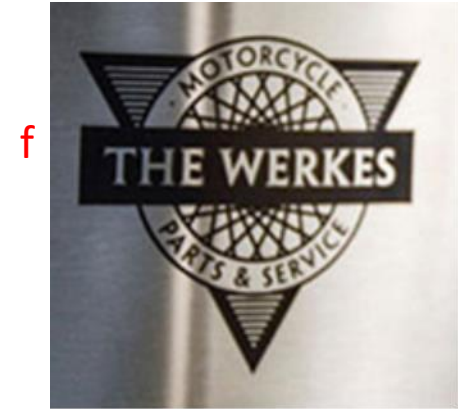
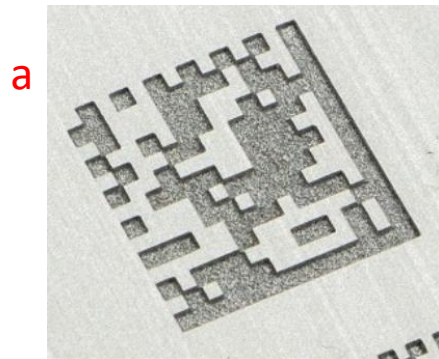
Odpaření povlaku: povrch narušen, vytvoření kontrastního nápisu odpařením horní vrstvy na výrobku (b)

Žihání: povrch nenarušen, pouze změny barvy působením teploty, na její hodnotě závisí výsledný odstín, u kovů možnost zpětné změny barvy dalším ohřevem (c). U plastů, dřeva, kůže a textilu zčernání (karbonizace)

Zpěňování: odpaření barviv z povrchu plastu a vytvoření pěnového CO₂ (d)

Selektivní leštění: vznik kontrastního hladkého a lesklého povrchu přetavením velmi tenké povrchové vrstvy (e)

Značení barvivem /Selektivní glazurování : aplikace směsi barviva a tepelného absorbéru, po zahřátí laserem vznik barevné vrstvy, pevně spojené s podkladem chemickou vazbou (f)



5. Laserové značení v automobilovém průmyslu

Automotive Industry

Identification and Traceability

with Laser, Micro-percussion and scribing permanent marking solution

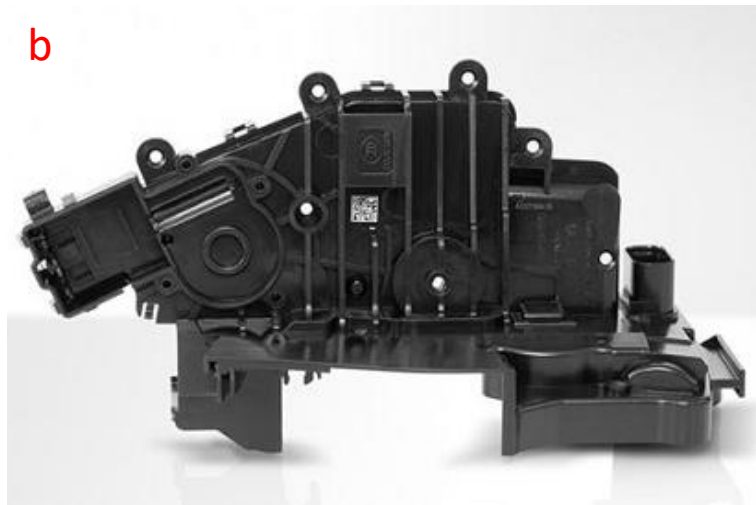
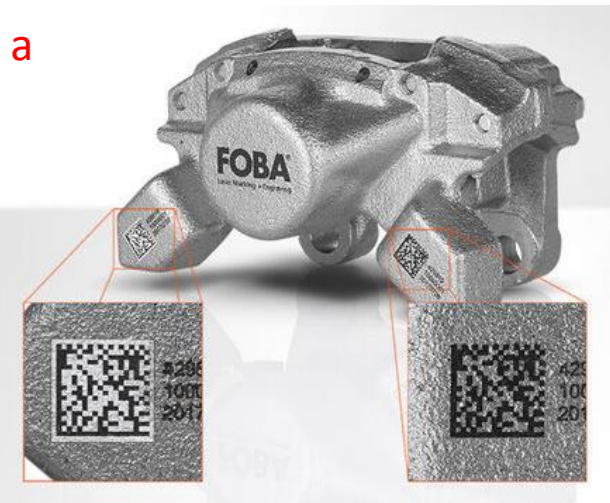


Přehled konstrukčních prvků automobilu, značených laserem:

- 1) Součásti motoru - blok motoru, převodovka, válec, písty, pístnice, vačkový hřídel, klikový hřídel
- 2) Systém přívodu paliva - palivové čerpadlo, vstřikovací systém, alternátor, čistič vzduchu, startér, chladič, vodní pouzdro
- 3) Karoserie - dveře, karosářské díly (plechy), rámy do auta, podvozek, identifikační číslo
- 4) Přebodovka - ozubená kola, ložiska, hřídel, ventily
- 5) Systém pohonu a řízení - kola, brzdové komponenty, převodová část, tlumiče, řídicí hřídel, pérování
- 6) Výfukový systém - výfukový systém, tlumič výfuku, filtr pevných částic, tlumič hluku, katalyzátor.
- 7) Interiér – klimatizace, bezpečnostní pásy, palubní deska, zapalovač cigaret atd.
- 8) Sensory a spínače - multifunkční zástrčka, snímač tlaku oleje, snímač průtoku vzduchu, regulace topení.
- 9) Osvětlení –přední a zadní světla, mlhovky (<https://www.heatsign.com/marketing-needs-for-automotive-industry/>)

5. Laserové značení v automobilovém průmyslu

Využití v automobilovém průmyslu: jednoznačná identifikace součástky, značení součástí ze všech druhů materiálu pro zpětné vyhledávání data výroby v případě dohledání vadných sérií, nezákonná výměna dílů při prodejkách, apod.

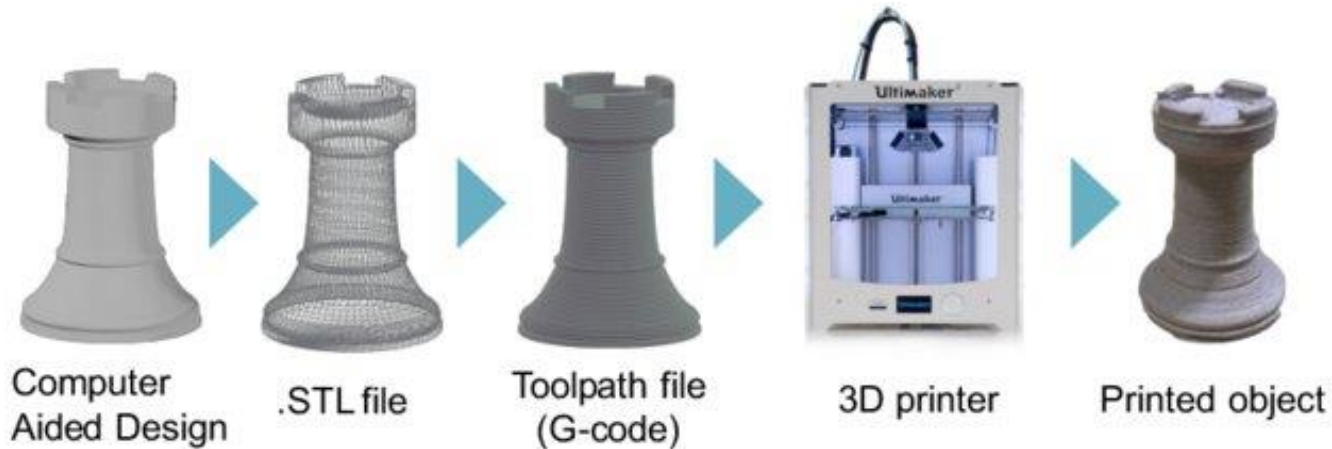


a) litinové bloky motoru – leštění/leptání, b) plastový kryt dveřního zámku – zpěnění, c) gravírování plastových částí, d) ohýbaná trubka z vysokojakostní oceli pro auta na plyn – žihání, e) plastový teplotní senzor – změna barvy, f) nylonová benzínová hadička – změna barvy, g) podsvícené spínače a kontrolky – ablace vrstvy povlaku na transparentním podkladu (<https://www.fobalaser.com/industry-solutions/automotive/>)

6. Laserový 3D tisk – využití v automobilovém průmyslu

Přehled technologií 3D tisku (aditivní technologie), využívající laserové záření:

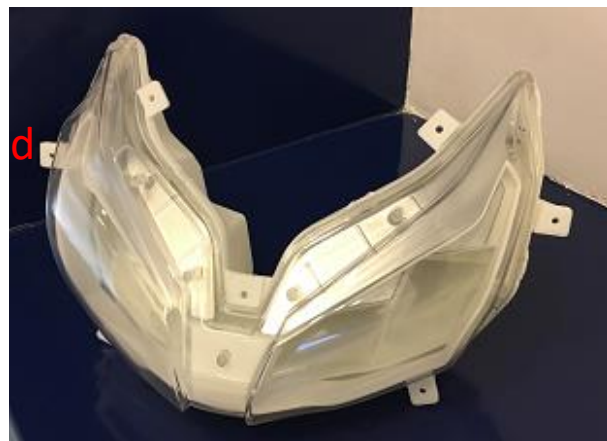
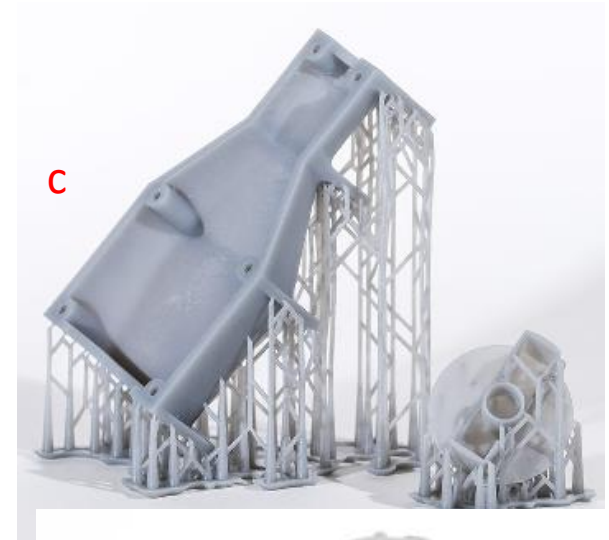
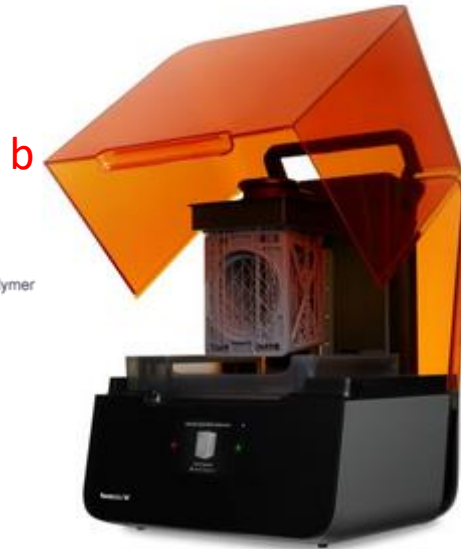
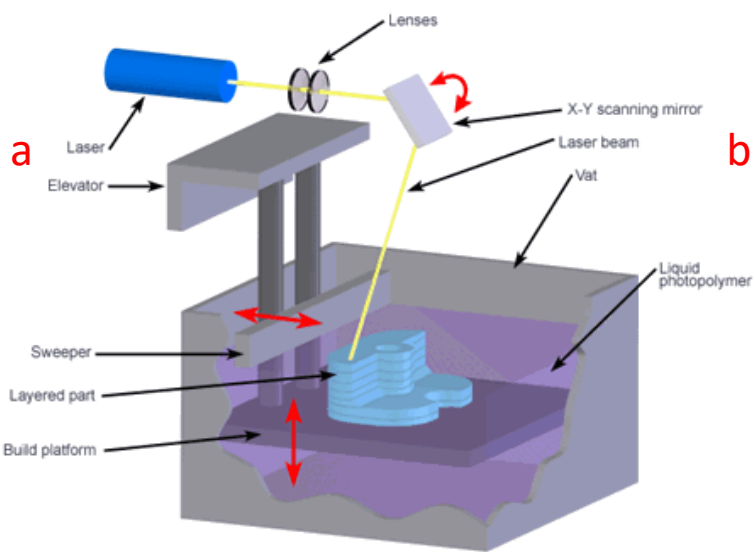
zkratka	název	medium	laser
LSLA	Laserová stereolitografie	Fotosenzitivní polymery (pryskyřice) v tekutém stavu	UV 405 nm 200 mW až 1000 mW
SLS	Selektivní laserové sintrování (spékání)	Plasty (polyamid PA – nylon, PEKK, pružný TPU - termoplastický polyuretan, nehořlavé a antistatické polymery), kovy, keramika, vše ve formě práškové směsi s pojivem	Vláknové 1 030 nm, CO ₂ 10,6 μm řádově 100 W
DMLS	Přímé laserové spékání kovového prášku	Kovový prášek – nerez ocel, titanové a hliníkové slitiny, bronz, nikl	Vláknové 1 030 nm, 200 W až 1 kW
LOM	Výroby laminovaných objektů	Plasty, papír, uhlíkové kompozity, dřevo, plech	CO ₂ 10,6 μm



Obecné schéma výrobního postupu 3D tištěných objektů: plný CAD model – vytvoření 3D sítě do souboru *.stl – vytvoření CNC programu pro pohyb laserového svazku v jednotlivých vrstvách – 3D tisk – tištěný objekt připravený k eventuální dodatečné úpravě povrchu

6. Laserový 3D tisk – využití v automobilovém průmyslu

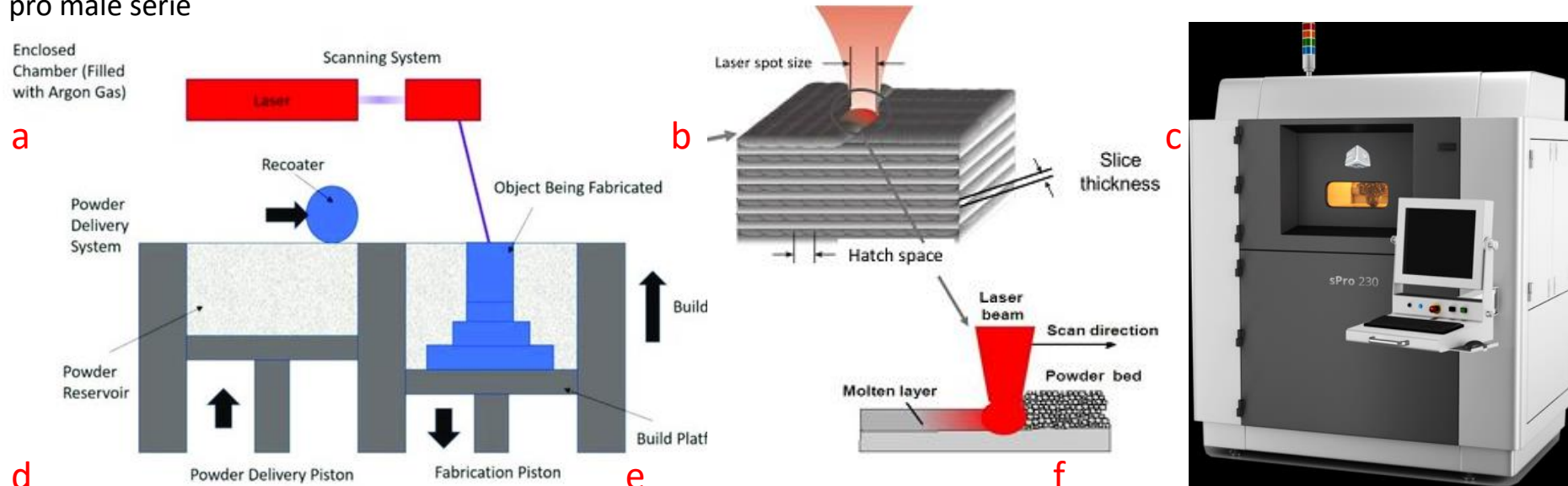
LSLA – laserová stereolitografie: postupné vytvrzování fotosenzitivních polymerů působením ultrafialového laseru (405 nm), který je moderní alternativou k ultrafialové výbojce (SLA – stereolitografie)



a) schéma laserového systému „top down“ pro LSLA, b) stolní desktop „bottom up“ systém FORMLABS, c) hotový model z šedé pryskyřice s podpurnými můstky, d) model krytu světlometu z transparentní pryskyřice, e) model palubní desky, f) roletová část vozu Alfa Romeo Sauber F1® Team's

6. Laserový 3D tisk – využití v automobilovém průmyslu

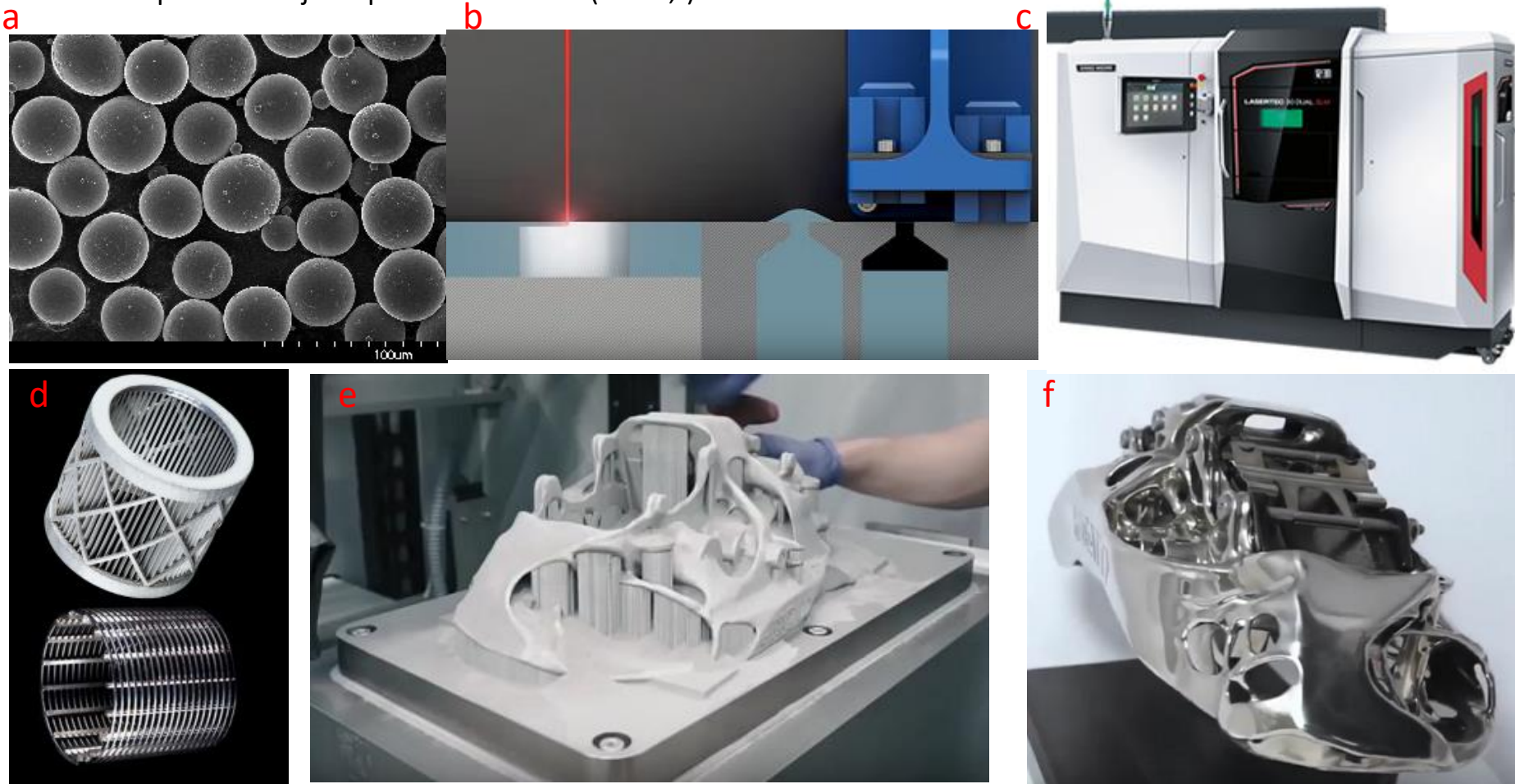
SLS – selektivní laserové sintrování: postupné spékání plastového, keramického nebo jednoprvkového kovového prášku roztavením povrchu zrna. Nejvíce využívaným materiálem je Polyamid (Nylon) s možnými příměsími skla, hliníku nebo uhlíku. Laserový systém s uzavřenou komorou, vyplněnou argonovou atmosférou. Výroba plastových modelů a součástek pro malé série



a) schéma laserového systému pro SLS, b) postup střídavého nanášení vrstev, c) průmyslový SLS systém sPro 230, d) pouzdro a držák diferenciálu přední osy – srovnání dvoudílného tvářeného a monolitického sintrovaného výrobku, e) model rozdělovač motoru, f) 3D model dětské sedačky

6. Laserový 3D tisk – využití v automobilovém průmyslu

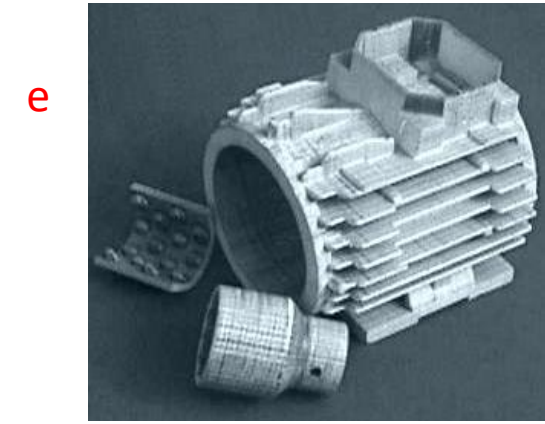
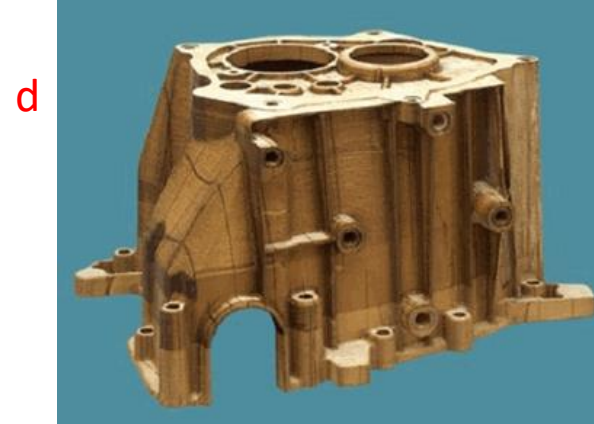
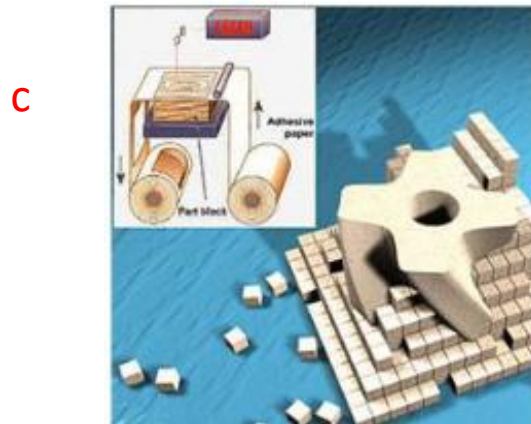
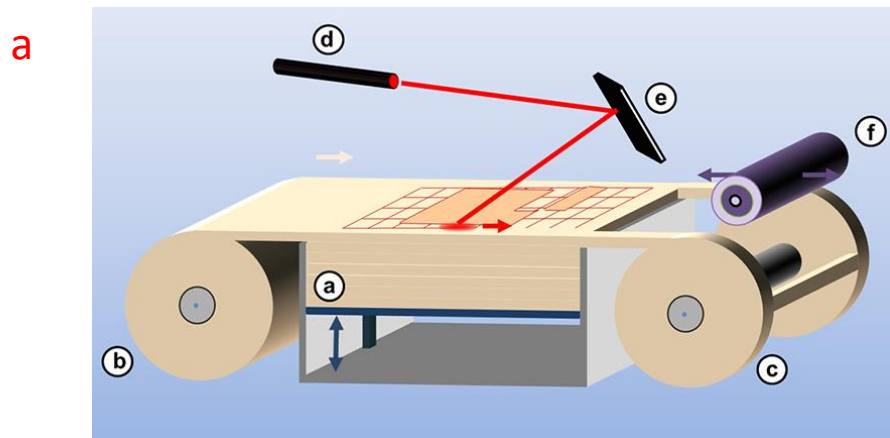
DMLS – přímé laserové spékání kovového prášku: obdobný princip jako SLS, ve vyčerpané a argonem naplněné komoře se na podložce postupně vytváří objekt spékáním vrstvičky prášku silné (20 – 100) μm , avšak materiál se úplně přetaví, důraz na homogenitu velikosti zrn, optimální pozice podpurných můstků. Vývoj prototypů, výroba tvarově velmi komplikovaných dílů a sestav, které jsou jinak tradičními metodami (odléváním, obráběním) nerealizovatelné, nesrovnatelně rychlejší výroba funkčních částí, tradičně montovaných nebo svařených z mnoha dílů (obr. d). Možná dodatečná úprava drsnějšího povrchu leštěním (obr. e,f)



a) SEM snímek zrn kovového prášku, b) princip metody DMLS, c) laserový systém LASERTEC 30 DUAL, d) válcový filtr sestavený z klínového drátu (dole) – kompaktní provedení z 3D tisku (nahore), e) 3D tištěný brzdový třmen pro vůz Bugatti po odstranění prášku a f) po vyleštění povrchu

6. Laserový 3D tisk – využití v automobilovém průmyslu

LOM – výroba laminovaných objektů: řezání tvarů z papíru, plastu nebo uhlíkového kompozitu (obr. b) pro laminované objekty. Z pásu materiálu s tenkou vrstvou tepelně citlivého lepidla laser vyřezává postupně vrstvy pro 3D laminovaný objekt, poté přejede po pracovní ploše horký válec a připevní tak další vrstvu, přípravu k ořezu (obr. a). Pro odstranění zbytkového materiálu je současně s obrysem vyřezána pravidelná mřížka (obr. c). Rychlá a levná metoda, možnost vytvoření velkých modelů - prototypy pro licí formy (obr. d, e). Nevhodné pro duté objekty, horší kvalita povrchu. Výroba architektonických a výukových modelů nebo levných vzorků výrobku pro marketingové účely.

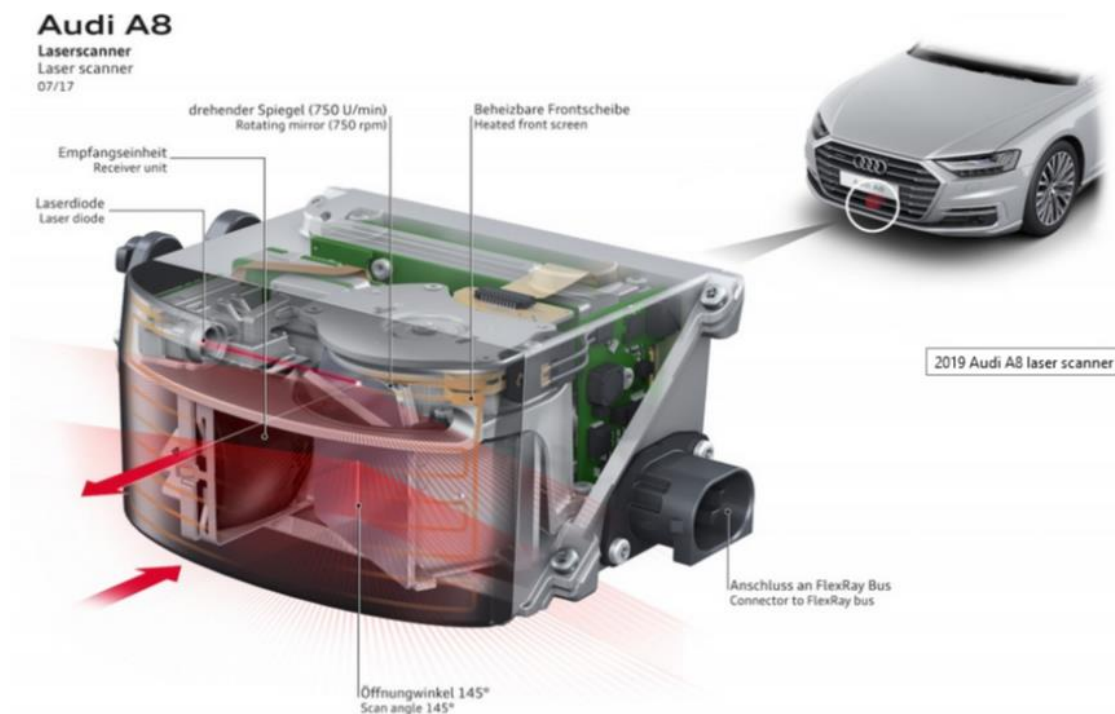
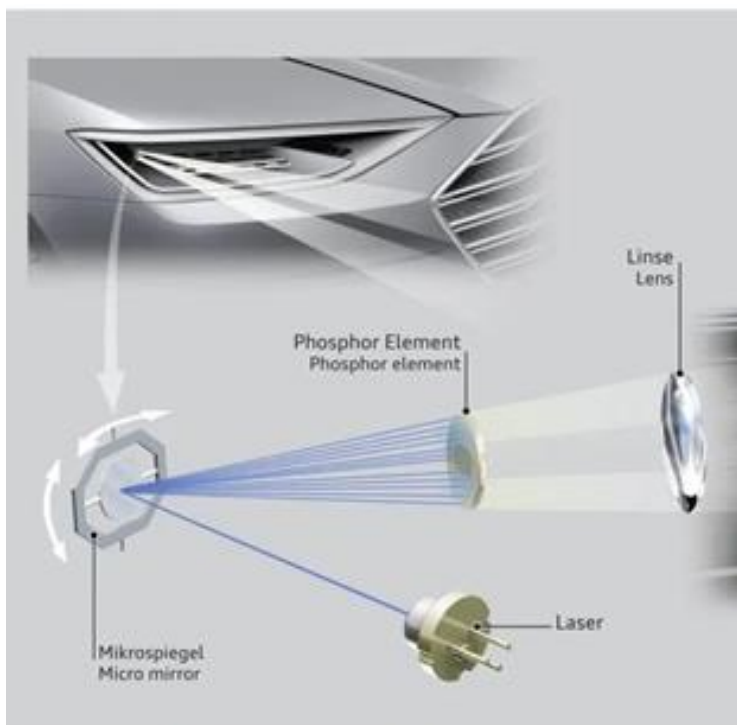


a) schéma metody LOM - (a) pohyblivá základna objektu, (b) role vstupního materiálu s vrstvou lepidla, (c) navíjení zbytkového materiálu, (d) CO₂ laser, (e) skenovací optika pro laserový svazek, (f) horký válec pro tmelení vrstev, b) laminované díly z uhlíkového kompozitu, c) odstranění šrafovaného zbytkového materiálu, d), e) laminovaný prototyp pro licí formy z papíru

7. Lasery jako součástky automobilů – světlomety, interní senzory

Laserové světlomety – svazek modré laserové diody (gallium indium nitrid GaN + InN, 450 nm) je mikro zrcátkem rozmítán na optický prvek se žlutým fosforem, který je excitován a vyzařuje bílé světlo. Matrice pro fosforovou matici je vyrobena ze skla, keramiky nebo silikonu. Výhodou laseru oproti ostatním technologiím použitých pro světlomety je vysoký světelný výkon při nízké spotřebě energie a také menší velikost světla.

Interní senzory - LIDAR - Light Detection and Ranging (vojenství, geodézie, astrofyzika, meteorologie), emise laserového pulsu a sepnutí časového měřicího obvodu – odraz od objektu – detekce odraženého světla na foto-senzoru a vypnutí časového měřicího obvodu, z doby šíření a rychlosti světla je vypočtena vzdálenost. Obvykle se využívají vlnové délky 905 nm a 1 540 nm. Použití je převážně pro „self-drive“ vozy (rotace odrazného zrcátka až 360°), ale již se rozšiřuje do běžných aut v kombinaci s jinými senzory (radar, UZV).



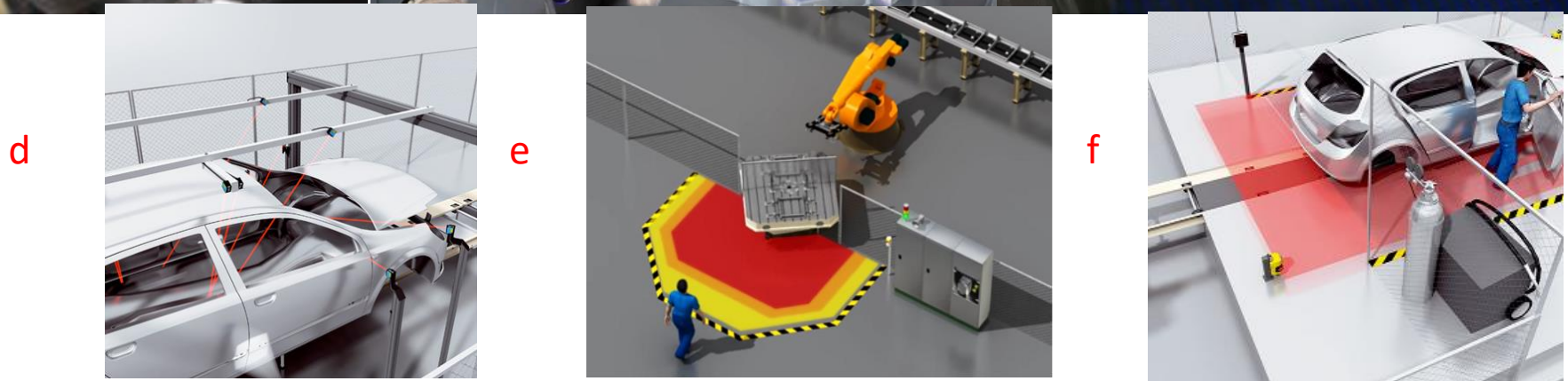
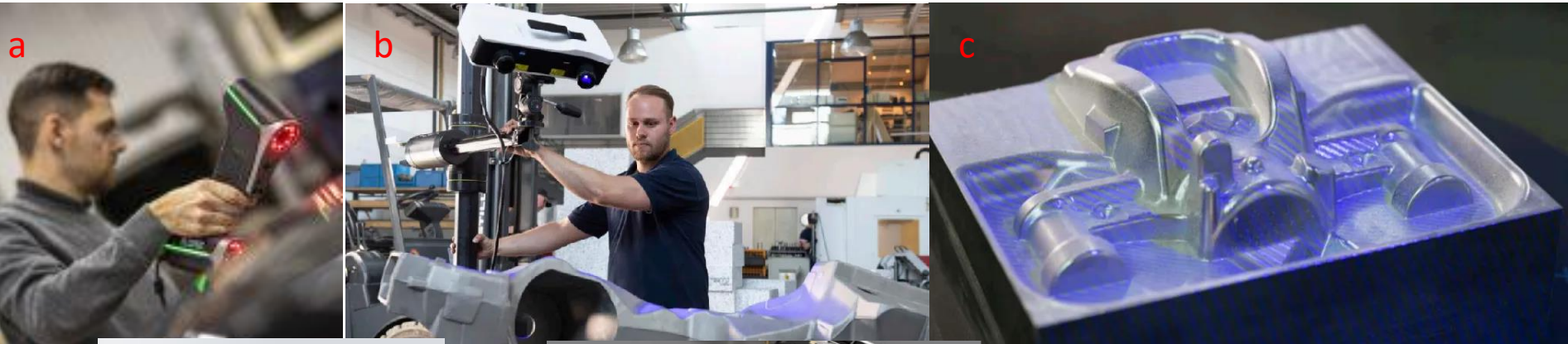
a) konstrukce laserového světlometu (AUDI), b) LIDAR – laserový skener, zamontovaný do přední masky vozu AUDI A8

7. Lasery jako součástky automobilů – externí senzory

Lasery jako **bezkontaktní sondy** v diagnostických a měřicích přístrojích, většinou červená vlnová délka, ale i modrá, fialová nebo zelená. Provedení - **Triangulační senzory** využívají kolimovaný jednobodový svazek nebo **laserové skenery** – úprava svazku na lineární tvar nebo sítě (mračna) bodů.

Různé stupně automatizace - ruční hlavice, ruční nasměrování skeneru a automatický pohyb hlavice v daném měřicím rozsahu, automatické skenery bez lidské obsluhy ve výrobních linkách, laboratořích nebo na testovaném vozidle.

Využití: kontrola licích forem pro jednotlivé slévárenské komponenty (obr. c), kontrola vzdálenosti polotovarů vozů na montážní lince, kontroly rozměrů ve vzdálenosti 10 m – 30 m v těžko přístupných bodech, například senzor DT50 od firmy SICK, ohraničení nebezpečných oblastí s pohyblivými montážními stoly světelnými záclonami

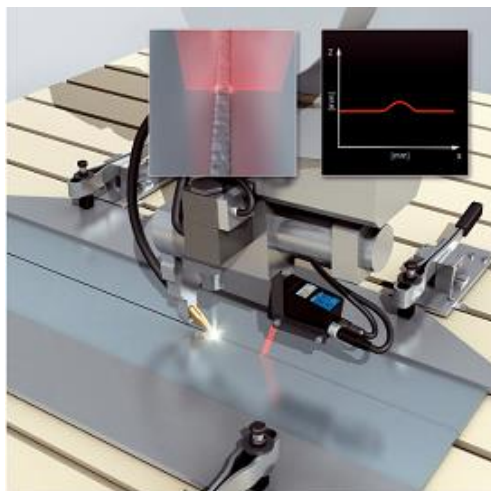


a) ruční skener KSCAN 3D , b) a c) kontrola přesnosti formy pro brzdový válec 3D skenerem ZEISS COMET, d) kontrola rozměrů v nedostupných bodech, e) světelné bezpečnostní záclony, f) vymezení bezpečnostní zóny kolem montážního bodu

7. Lasery jako součástky automobilů - externí senzory

Laserové senzory v automobilovém průmyslu – externí měřiče:

- kontrola přesnosti svarových spojů, dodržení předepsaných rozměrů na automobilu, kvalita laku
- monitorování dynamiky vozidla při jízdě pomocí připevněného triangulačního senzoru
- měření zpomalení vozu při nárazu do překážky (crash testy), následné vytvoření časové křivky zpomalení auta při nárazu



a) kontrola svarového spoje, b) kontrola mezery mezi bočními dveřmi, c) kontrola kvality povrchu dveří, d) senzor výšky vozidla, e) ukázka crash-testu, f) senzor AR500 pro crash testy

Děkuji za pozornost



Zastavení vozidla na dálku vyřazením běžícího motoru z provozu - Laserový zbraňový systém ATHENA (30 kW vláknový laser ALADIN - Accelerated LASer Demonstration INitiative), Americká společnost Lockheed Martin

Zdroje použitých obrázků z internetu a více informací jsou uvedeny v e - learningových materiálech