

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TRENDY VÝVOJE LASEROVÉ TECHNOLOGIE

TRENDS OF DEVELOPMENT LASER TECHNOLOGY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB ZLESÁK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL OSIČKA

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Zlesák Jakub

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Trendy vývoje LASERové technologie.

v anglickém jazyce:

Trends of development LASER technology.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor předpokládaného vývoje aplikací laserového obrábění ve strojírenství.

Cíle diplomové práce:

Stávající úroveň laserové technologie při aplikaci ve strojírenství.

Možnosti nových aplikací laseru ve strojírenství a jeho vzrůstající podíl ve výrobě.

Předpokládaný rozvoj laserové technologie v horizontu cca 5let.

Ekonomická náročnost provozu laserové technologie.

Licenční smlouva

ABSTRAKT

Základní seznámení s principem laserové technologie. Posouzení a zhodnocení současného stavu této technologie ve strojírenství. Možnosti využití nových poznatků a objevů v této oblasti pro použití ve strojírenství. Odhad vývoje laserové technologie do dalších 5 let a posouzení ekonomické náročnosti této technologie.

Klíčová slova

Laser, nekonvenční technologie, řezání laserem, laserové svařování

ABSTRACT

The basic acquaintance with laser technology principles. The consideration and evaluation of this technology present state in engineering. The possibilities of applying new knowledge and discoveries in this field for using in engineering. The estimation of laser technology development within further 5 years and consideration of this technology economical demands.

Key words

Laser, non-conventional technology, laser cutting, laser welding

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZLESÁK, Jakub. *Trendy vývoje LASERové technologie: Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. s.67
Vedoucí práce Ing. Karel Osička.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Trendy vývoje LASERové technologie“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....
Jakub Zlesák

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Karlu Osičkovi a prof. RNDr. Miroslavu Liškovi, DrSc. z VUT v Brně, Ing. Pavlu Kořánovi z firmy LAO průmyslové systémy s.r.o., Romanu Haltufovi a Marku Svobodovi z firmy TRUMPF Praha, spol. s r. o., Ing. Karlu Rejchovi z firmy Irisbus, Iveco Czech Republic, a.s., Ladislavu Musilovi a Jiřímu Nečasovi z firmy Abner a.s., Ing. Františku Říhovi a Ing. Petru Holetovi z firmy S & Ř, CH KOVO s.r.o., Jiřímu Maškovi z firmy SW-MOTECH s.r.o., Danielu Popelkovi z firmy Technologické centrum a.s., Slavomíru Indříškovi z firmy AIR PRODUCTS spol. s.r.o. a Ing. Erichu Beierovi, MBA za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah	7
Úvod	9
1 Principy laseru, jeho využití a začlenění	10
1.1 Nekonvenční technologie obrábění	10
1.1.1 Vysvětlení pojmu	10
1.1.2 Rozdělení nekonvenčních technologií	10
1.2 Historický vývoj laseru	11
1.3 Fyzikální princip laseru	12
1.4 Druhy laserů a jejich použití	15
1.4.1 Základní rozdělení laserů	15
1.4.2 Použití laserů	16
2 Lasery ve strojírenství	18
2.1 Princip laserů používaných ve strojírenství	18
2.1.1 Princip pevnolátkového laseru	18
2.1.2 Princip plynového laseru	19
2.1.3 Porovnání pevnolátkového a plynového laseru	20
2.2 Použití laserů ve strojírenství	21
2.2.1 Řezání laserem	21
2.2.2 Svařování laserem	25
2.2.3 Gravírování a značení laserem	28
2.3 Výhody a nevýhody laserů	30
2.3.1 Výhody	30
2.3.2 Nevýhody	30
2.4 Použití laserů v praxi	31
2.4.1 Irisbus, Iveco Czech Republic, a.s.	31
2.4.2 Abner a.s.	33
2.4.3 S & Ř, CH KOVO s.r.o.	34
2.4.4 SW-MOTECH s.r.o.	36
2.4.5 Technologické centrum a.s.	37
2.4.6 Zhodnocení	39
3 Nové aplikace	40
3.1 Hybridní laserové svařování - Laserhybrid	40
3.1.1 Konstrukce	40
3.1.2 Geometrie svaru	41
3.1.3 Výhody	42
3.1.4 Možnosti využití ve strojírenství	42
3.2 Remote svařování	42
3.2.1 Výhody	43
3.2.2 Možnosti využití ve strojírenství	43
3.3 Laserové pájení	43
3.3.1 Výhody	43
3.3.2 Možnosti využití ve strojírenství	43
3.4 Mikroobrábění a vrtání	44

3.4.1 Výhody	44
3.4.2 Možnosti využití ve strojírenství	44
3.5 LMT - výroba diamantových kotoučů pomocí laserů	44
3.5.1 Výhody	44
3.5.2 Možnosti využití ve strojírenství	44
3.6 Selective Laser Sintering	45
3.6.1 Výhody	45
3.6.2 Možnosti využití ve strojírenství	45
3.7 Laserové navařování	45
3.7.1 Výhody	45
3.7.2 Možnosti využití ve strojírenství	45
3.8 Vláknový laser – Fiber laser	46
3.8.1 Konstrukce	46
3.8.2 Výhody	46
3.8.3 Možnosti využití ve strojírenství	47
3.9 Diodami čerpaný laser	47
3.9.1 Výhody	47
3.9.2 Možnosti využití ve strojírenství	48
3.10 Kotoučový laser (diskový laser)	48
3.10.1 Výhody	48
3.10.2 Možnosti využití ve strojírenství	48
3.11 SLAB a INNOSLAB laser	49
3.11.1 Výhody	49
3.11.2 Možnosti využití ve strojírenství	49
3.12 Bifocal čočka	49
3.12.1 Výhody	50
3.12.2 Možnosti využití ve strojírenství	50
3.13 3D řezání	50
3.13.1 Možnosti využití ve strojírenství	50
3.14 Společná hlavice pro řezání a svařování	50
3.14.1 Možnosti využití ve strojírenství	50
3.15 Laserové centrum se 2 řezacíma hlavicemi	50
3.15.1 Možnosti využití ve strojírenství	50
4 Předpokládaný rozvoj v horizontu 5 let	51
4.1 Odhad vývoje v globálním a ekonomickém měřítku	51
4.2 Odhad rozvoje technologií České republiky a ve světě	52
4.3 Odhad vývoje konstrukce laserů a jejich součástí	54
5 Ekonomická náročnost provozu laserové technologie	56
5.1 Pořízení laserového CO ₂ centra k řezání materiálu	56
5.1.1 Zhodnocení výrobního programu	56
5.1.2 Prostory pro umístění laserového centra	56
5.1.3 Nákup laserového centra	57
5.1.4 Náklady spojené s provozováním laserové technologie	58
5.1.5 Cenová politika firmy	61
ZÁVĚR	62
Seznam použitých zdrojů	63
Seznam použitých zkratk a symbolů	67

ÚVOD

LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – zesílení světla pomocí stimulované emise). Co je to vůbec laser? Každému člověku se při vyslovení tohoto slova vybaví asi něco jiného. Většina lidí si ale pod tímto slovem představí úzký intenzivně zářící paprsek světla různé barvy. Málo lidí už si ale uvědomí fakt, co tento paprsek monochromatického, koherentního světla dovede a k čemu všemu v dnešní době již slouží.

Za necelých 50 let, co uplynulo od sestrojení prvního předchůdce laserů, si tento vynález našel své uplatnění snad ve všech oborech a odvětvích, na které si jen člověk vzpomene. Laserové přístroje se dnes využívají v celé řadě oborů např. v medicíně, astronomii, geodézii, metrologii, technice spojů, vojenské technice, biologii, energetice a v neposlední řadě i ve strojírenské technologii.

Díky neustále větším požadavkům konstruktérů a zákazníků na výrobu součástí, které byly způsobeny zvyšováním tvarové složitosti, zvýšené přesnosti obrábění, zmenšováním strojních časů, úspoře nákladů a také zaváděním nových materiálů do výroby, vedlo i k větším nárokům na klasické konvenční technologie. Tyto technologie už pomalu přestaly v určitých parametrech vyhovovat, proto se hledalo něco, co by je dokázalo nahradit a uspokojit jak potřeby konstruktérů tak i zákazníků. To vše mělo za následek vznik nových technologií obrábění, které řadíme do kategorie tzv. Nekonvenčních technologií obrábění. Tyto technologie byly již vyvíjeny s požadavkem na dobrou integrovanost těchto technologií se systémy CAD/CAM a CIM.

Nekonvenční technologie obrábění můžeme v současné době rozdělit na několik základních skupin. Tyto skupiny jsou rozděleny podle způsobu a principu obrábění materiálu. A neodmyslitelně k nim patří i laserové technologie.

Tato technologie se od 80.let, kdy postupně začala přicházet na trh, neustále rozvíjí. Zlepšují se parametry strojů, které tuto technologii používají a výrobou těchto strojů se zabývá čím dál více firem. To vše vede k tomu, že cena těchto strojů klesá a ty se pak stávají dostupnější pro větší spektrum odběratelů. V současné době tato technologie společně s ostatními nekonvenčními technologiemi zažívají tzv. „boom“ a tvoří již neodmyslitelnou součást strojírenské výroby.

V následující diplomové práci bych se proto chtěl zaměřit na popsání stávající úrovně laserových technologií ve strojírenství. Dále bych se zaměřil na novinky, které jsou do tohoto odvětví přinášeny a zhodnotit jejich možnosti uplatnění ve strojírenství. A protože je toto odvětví velmi progresivní, zaměřil bych se i na směr, kterým se toto odvětví v následujících několika letech bude ubírat a v neposlední řadě i popsal ekonomickou náročnost provozu laserových technologií ve strojírenství.

1 PRINCIPY LASERU, JEHO VYUŽITÍ A ZAČLENĚNÍ

Následující kapitola se bude zabývat začleněním laseru do nekonvenčních technologií a jejich stručná charakteristika. Seznámí nás s historií a principem, na kterém lasery fungují. Vysvětlí některé pojmy používané v této oblasti a ukáže oblasti využití laserů v současnosti.

1.1 Nekonenční technologie obrábění

1.1.1 Vysvětlení pojmu

Pod pojmem, kterým označujeme nekonvenční metody obrábění si můžeme představit technologie, které nevyužívají na rozdíl od klasických konvenčních způsobů třískové obrábění. Tyto technologie používají k úběru materiálu principu fyzikálních nebo fyzikálně-chemických reakcí. Tento úběr se děje vesměs bezsilově a bez vzniku vnitřních třísek. U těchto technologií nikdy nedochází k přímému kontaktu „nástroje“, většinou ve formě trysek, drátků, elektrod atd., s vlastním obráběným materiálem. Tyto „nástroje“ slouží k produkci energie, která následně za pomoci erozivních účinků obrušuje daný materiál nebo ho přímo dělí. (1, 2)

1.1.2 Rozdělení nekonvenčních technologií

Nekonenční technologie se nechají rozdělit do 3 následných skupin a to podle způsobu oddělování materiálu:

Oddělování materiálu tepelným účinkem:

- Elektroerozivní obrábění
- Obrábění paprskem laseru
- Obrábění paprskem plazmy
- Obrábění elektronovým paprskem

Oddělování materiálu elektrochemickým nebo chemickým účinkem:

- Elektrochemické obrábění
- Chemické obrábění

Oddělování materiálu mechanickým účinkem:

- Ultrazvukové obrábění
- Obrábění paprskem vody
- Obrábění abrazivním vodním paprskem

Všechny stroje, které využívají nekonvenční technologie, prakticky všude využívají řídicí CNC systémy. V dnešní době už jsou tyto stroje řízeny standardně ve 2, ale i ve 3 a dokonce i v 6 osách. Toto vše má za následek, že se výrazně zvyšují možnosti využití těchto technologií v praxi.

Pro každou konkrétní technologii existuje, ale i řada omezení, která jsou dána principem činnosti dané technologie. Například pro obrábění paprskem laseru se musí zabezpečit ochranná atmosféra a odolnost proti vznikajícím plynům. Při elektroerozivním obrábění se musí tento proces odehrávat v kapalně lázni, při obrábění paprskem vody je zapotřebí dbát zvýšené pozornosti na kvalitu vody a odolnost stroje vůči vodě a prachu. (2)

1.2 Historický vývoj laseru

- 1917** – A. Einstein předpověděl, že kromě spontánní emise a absorpce existuje i stimulovaná emise.
- 1939** – V. A. Fabrikant přišel s možností využití stimulované emise k zesilování elektromagnetického záření, které prochází prostředím.
- 1951** – V. A. Fabrikant, M. M. Vudynský a F. A. Butajevová si zaregistrovali patent na metodu zesilování elektromagnetického záření pomocí prostředí, kde je vytvořen nerovnovážený stav.
- 1952** – N. G. Basov a A. M. Prochorov realizovali myšlenku zesilování záření v mikrovlnné oblasti pomocí stimulované emise v maseru. A tato myšlenka byla skoro prakticky realizována i Ch. H. Townesem.
- 1954** – Sestrojen první molekulární generátor.
- 1955** – N. G. Basov a A. M. Prochorov navrhli optické buzení a prostředek pro dosažení populační inverze.
- 1957** – N. G. Basov realizoval optický rezonátor s leštěnými paralelními stěnami.
- V. A. Fabrikant a F. A. Butajevová pozorovali zesílení optického záření u elektrického výboje, který procházel směsí par rtuti, vodíku a helia.
- 1958** – A. M. Prochorov, Schawlow a Townes nezávisle na sobě vysvětlili hypotézu, že stimulovaná emise může být použita i v oblasti ultračerveného světla.
- 1960** – T. Maiman vyleštil koncové stěny krystalu umělého rubínu, nanесl na ně tenkou vrstvičku stříbra (funkce zrcadla) a vytvořil tak první nedokonalý rubínový laser.
- A. Javan, W. R. Bennett a D. R. Herriott ukázali laserové záření i ve směsi plynů helia a neonu.
 - Zkonstruován první vodíkový maser.
- 1962** – R. Hall sestrojil první polovodičový laser.
- V Československu první maser.
- 1963** – V Československu první laser.

1964 – N. G. Basov, A. M. Prochorov a Townes získali společně Nobelovu cenu za fyziku za zásadní výzkum v oboru kvantové elektroniky, který vedl ke konstrukci oscilátorů a zesilovačů založených na principu maserů a laserů.

- K. Patel sestrojil první CO₂ laser.
- J. F. Geusic a R. G. Smith sestrojili první neodymový laser (Nd:YAG).

1971 – I. Hayashi a M. Panish sestrojili první polovodičový laser.

(1, 3, 4, 5)

1.3 Fyzikální princip laseru

Podstatu laseru lze objasnit na základě kvantové fyziky a zjednodušeného planetového modelu atomu. Základem tohoto modelu je jádro (proton) okolo kterého obíhají po přesných uzavřených drahách elektrony. Tyto dráhy mají určitou energii, která je přesně kvantována, a proto se tyto dráhy nazývají energetickými hladinami. Kvantová energie je přesně definovaná 3 kvantovými čísly, nabývá diskretních hodnot a působí proti přitažlivé síle jádra. Každý elektron se díky této energii vyskytuje pouze na přesně vymezené energetické hladině, žádné přechodové dráhy mezi těmito hladinami neexistují a elektron se tak nemůže nacházet v prostoru mezi těmito energetickými hladinami. Za normálních podmínek se elektron snaží zaujmout kvantovaný stav s nejmenší energií, tento stav se nazývá stavem základním. U atomu v základním stavu elektron zaujímá nejnížší energetické hladiny, které jsou příslušny drahám co nejbližší jádra. Čím je tato dráha blíže jádru, tím má menší množství energie a naopak.

Pokud chceme, aby elektron přeskočil ze základní energetické hladiny E_0 na vyšší energetickou hladinu E_1 , musíme tento proces něčím vybudit. Toto vybudění se nazývá excitace a je doprovázeno spotřebou energie (absorpcí).

Elektron se může vrátit na základní energetickou hladinu E_0 za pomoci spontánní emise, kdy odevzdá svou přebytečnou energii ve formě elektromagnetického záření. Tato energie je přesně kvantována a odpovídá vztahu 1.1. (1, 6)

Kvantová energie (1, 6)

$$E_1 - E_0 = hf \quad (1.1)$$

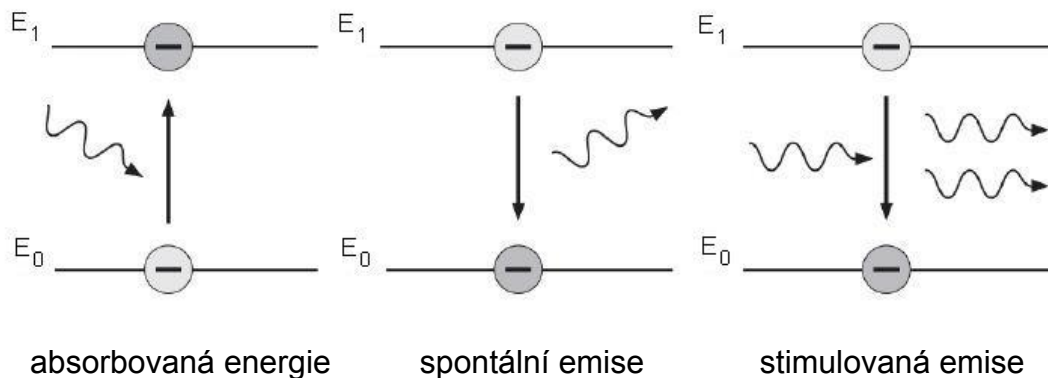
Elektron se ovšem může vrátit na základní energetickou hladinu E_0 pomocí stimulované emise. Stimulovaná emise je základ pro vznik laserového světla. Nejprve je však zapotřebí, aby se co nejvíce elektronů udrželo na vyšší energetické hladině, a pak na této hladině vydrželo co nejdéle. To znamená, že atom musíme vybudit a dosáhnout tím populační inverze, kdy je vyšší hladina obsazena více elektrony než nižší. Látky, díky kterým se takto děje, se

nazývají aktivní prostředí nebo výbojky. Hladinám, na kterých tyto elektrony zůstávají delší dobu, pak metastabilní hladiny. Jestliže se však do této soustavy přivede foton o stejné frekvenci, elektron přechází do základní energetické hladiny E_0 při současném vyzáření energie hf a zároveň za zesílení kvantové energie, která odpovídá vztahu 1.2. (1, 5, 6)

Kvantová energie (1, 6)

$$E_1 - E_0 = 2hf \quad (1.2)$$

Aby byla tato unikající energie ve formě světla soustředěna do jednoho směru, používá se optický rezonátor. Optický rezonátor pracuje na principu dvou navzájem kolmých zrcadel, z čehož je jedno polopropustné a druhé zcela nepropustné. Fotony vznikající stimulovanou emisí se šíří nejrůznějšími směry, pomocí zrcadel se však odráží tam a zpět, až zůstanou jen ty fotony, které se šíří ve směru osy zrcadla a mají stejnou vlnovou délku. Tyto fotony přitom stimulují další vybuzené elektrony. Intenzita světla uvnitř rezonátoru postupně narůstá a fotony dosahují určité intenzity. Když tato intenzita překročí danou hodnotu laserový paprsek se vyzáří polopropustným zrcadlem, ve směru osy zrcadla. (5, 6)

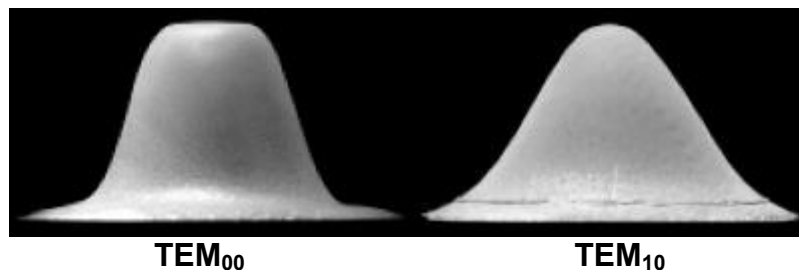


Obr. 1.1 Přechod elektronu mezi hladinami (6, 47)

Vlastnosti laserového záření jsou: (7)

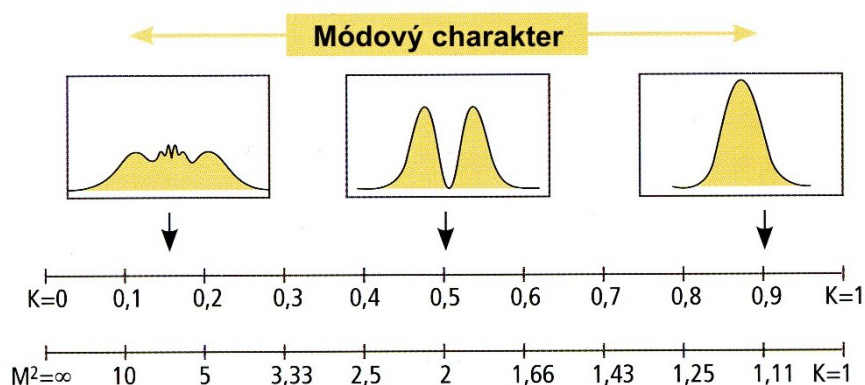
- Monochromatické – záření má pouze jednu vlnovou délku.
- Koherentní (prostorově i časově) – všechny částice světelné vlny kmitají se stejnou fází, a to v rovině kolmé na směr šíření, tak i ve směru šíření vlny.
- Minimální divergence – minimální rozbíhavost paprsku.
- Vysoká výstupní intenzita záření.

- Módová struktura – v příčném průřezu po průchodu rezonátorem paprsek světla vytváří jednoduchou stopu a nebo složitější kruhově symetrické nebo pravoúhlé obrazce.



Obr. 1.2 Nejpoužívanější módy (10)

- Kvalita paprsku – kvalitu určuje K faktor a M^2 faktor, v obou případech je nej kvalitnější paprsek označen hodnotou 1.



Obr. 1.3 Kvalita paprsku (22)

Pokud tento laserový paprsek pomocí optické soustavy fokusujeme do velmi malého bodu, má tento bod v místě dopadu paprsku mimořádně velkou hustotu energie. Tato energie se využívá k natavování popřípadě odtavování materiálu. (7)

1.4 Druhy laserů a jejich použití

1.4.1 Základní rozdělení laserů

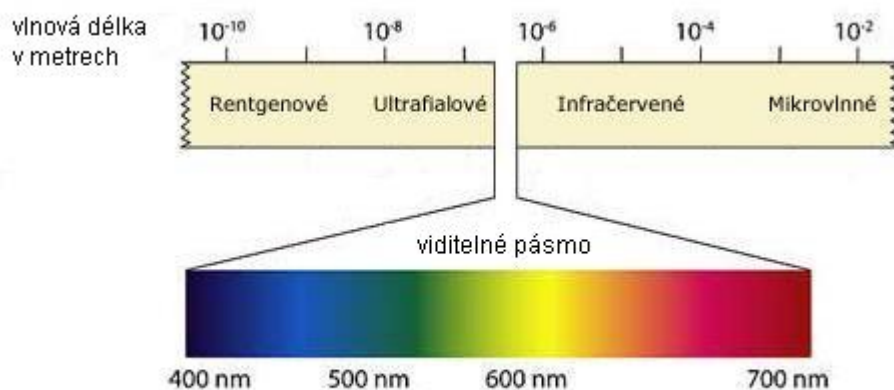
Lasery můžeme rozdělit podle několika kritérií.

Podle aktivního prostředí: (9)

- pevnolátkové
- kapalinové
- plynové
- polovodičové
- plazmatické

Podle vlnových délek optického záření, které vysílají:

- infračervené
- ultrafialové
- rentgenové
- viditelné pásmo



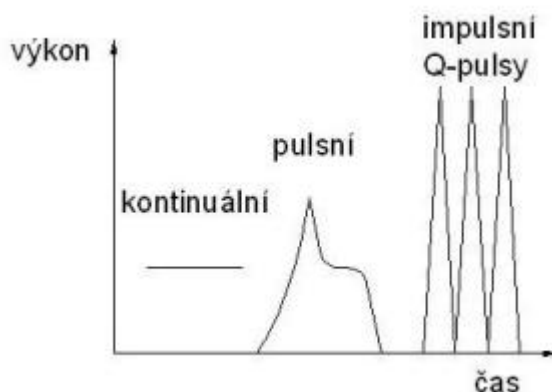
Obr. 1.4 Světelné spektrum (48)

Podle zúčastněných energetických hladin na kvantovém přechodu:

- molekulární (rotační, rotačně - vibrační, vibrační)
- elektronové
- jaderné

Podle časového provozu:

- kontinuální (cw)
- pulsní (pw)
- impulsní (Qs)



Obr. 1.5 Režimy laseru (7)

Podle délky generovaného pulsu:

- s dlouhými pulsy
- s krátkými pulsy
- s velmi krátkými pulsy

Podle typu buzení:

- opticky
- elektrickým výbojem
- elektronovým svazkem
- tepelnými změnami
- chemicky
- rekombinací
- injekcí nosičů náboje

1.4.2 Použití laserů

V dnešní době má laser široký rozsah použití a můžeme ho rozdělit do 4 základních skupin použití: (5)

V průmyslu:

- řezání
- svařování
- gravírování
- vrtání
- mikroobrábění
- dekorace skla
- zaměřování a měření vzdáleností

V medicíně:

- oční lékařství
- dermatologie
- chirurgie
- onkologie

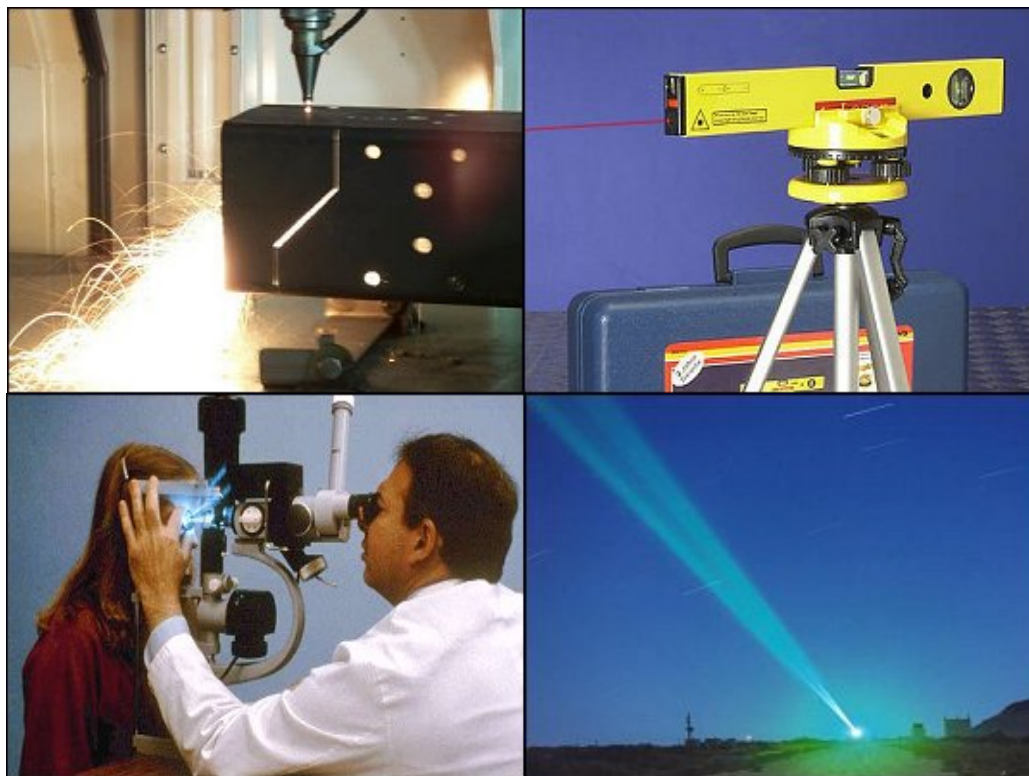
V holografii:

- hologramy

Ostatní:

- astronomie
- geodézie
- geofyzika
- ekologie
- metrologie
- jaderná fyzika
- vojenské aplikace
- laserové kopírky a tiskárny
- CD, DVD

Jak je vidět z následujícího rozdělení, lasery si díky svým unikátním vlastnostem našly v dnešní době nesmírné množství použití a aplikací. Člověk se s nimi setkává téměř na každém kroku, aniž by si to uvědomoval. A už vůbec by si nedokázal svůj život představit bez přístrojů a strojů založených na laserové technologii.



Obr. 1.5 Příklady použití laseru (7)

2 LASERY VE STROJÍRENSTVÍ

Tato kapitola se bude týkat základních metod použití laseru ve strojírenství, vysvětlení jejich principu a užití. Seznámí nás s několika firmami v České republice, které používají laser k řezání materiálu.

2.1 Princip laserů používaných ve strojírenství

Ve strojírenství se do současné doby prosadily lasery, založené především na principu pevnolátkových laserů a plynových laserů.

2.1.1 Princip pevnolátkového laseru

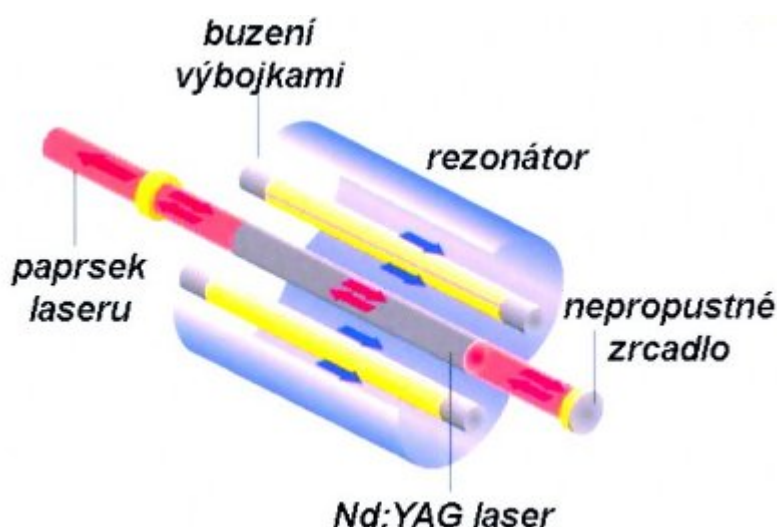
Nejčastěji jsou tyto lasery založeny na bázi Nd:YAG, Nd:sklo, rubínu, alexandrytu a dalších.

Lasery založené na tomto principu mohou pracovat obvykle jak v pulsním, tak i v kontinuálním režimu. Při tomto provozu je zapotřebí používat účinného chlazení celého zařízení.

Tyto lasery jsou velmi stabilní a mají malé nároky na údržbu. Jako aktivního prostředí je zde využíváno pevných látek, a to jak krystalických, tak i amorfních s příměsí vhodných iontů. Tyčka z aktivního materiálu je dokonale vyleštěna a opatřena dokonale kolmými konci na osu tyčky nebo svírající s podélnou osou krystalu určitý úhel, nazývaný Brewsterův. Oba konce tyčky mohou být opatřeny tenkou vrstvou kovu např. stříbra, která vytváří na jedné straně dokonale odrazovou a na druhé polopropustnou plochu. Celá takto připravená tyčka je považována za aktivní prostředí.

Tyčka je pak umístěna v kruhové, popřípadě elipsové dutině. Dutina má vysoce odrazové stěny a je do ni umístěna i výbojka, nejčastěji v podobě výbojkové trubice. Výbojku a tyčku je nutno umístit do ohniskové přímky. Na koncích je opatřena polopropustným a plně nepropustným zrcadlem.

Pomocí záblesků výbojky a odrazu od stěn dutiny dochází k pronikání světla to tyčky, a tím excitaci atomů v tyčce a posléze ke stimulované emisi. Délka budícího impulsu se pohybuje v řádu několika desetin milisekund až jedné milisekundy. Po dosažení stimulované emise zajišťují zrcadla na čele krystalu optickou zpětnou vazbu, takže foton stimulované emise způsobuje další postupné vynucené přechody a ve směru osy tyčky vychází z polopropustného zrcadla světelný paprsek. Střední účinnost takového pevnolátkového laseru se pohybuje kolem 3 až 6 %. (1, 5, 11, 12)



Obr. 2.1 Schéma pevnolátkového laseru (10)

2.1.2 Princip plynového laseru

Nejčastěji tyto lasery používají plyn CO_2 .

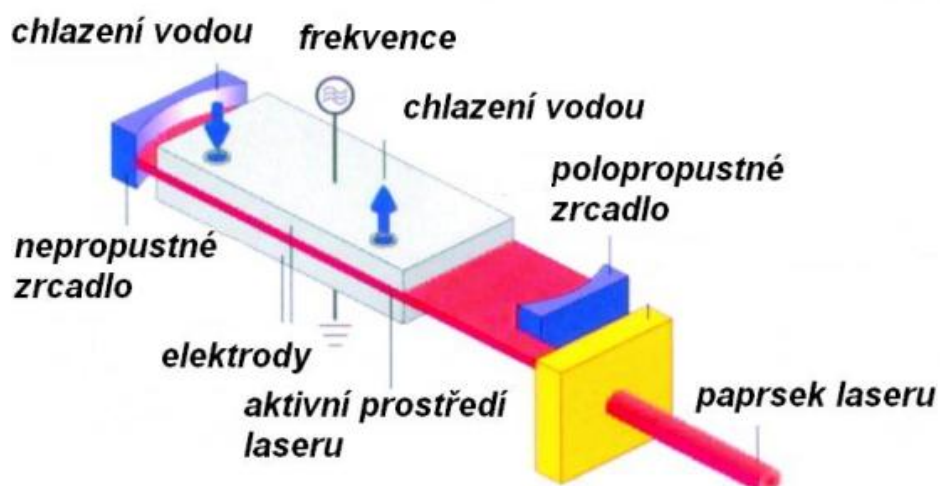
Získání kontinuálního provozu u pevnolátkových laserů je velmi obtížné, proto se většinou pro získání kontinuálního paprsku používají plynové lasery. Plynové lasery lze využít jak k získání kontinuálního tak i pulsního paprsku.

Jako aktivního prostředí jsou u těchto laserů využívány směsi plynů CO_2 , N_2 a He . Těmito plyny jsou naplněny trubice ze speciálního skla a za nízkého tlaku v trubici neustále proudí, a to buď axiálně, a nebo příčně na osu vznikajícího paprsku. Trubice má průměr v řádech milimetrů až desítek milimetrů a délku od několika milimetrů až po několik metrů. Při vzniku laserového paprsku se trubice zahřívá až na $100\text{ }^\circ\text{C}$, a proto musí být i vhodně chlazena nejčastěji za pomoci vody.

Vybuzení u plynových srážek je nejjednodušeji realizovatelné pomocí elektrického výboje v plynu, dá se ale i vybudit pomocí chemické reakce, fotodisociací, rychlou expanzí plynu, průchodem svazku rychlých elektronů nebo opticky.

Na obou koncích trubice je umístěno polopropustné a nepropustné zrcadlo. Po vybuzení atomů se v rezonátoru vytvoří světelné vlny stimulované emise. Tyto světelné vlny jsou mezi dvěma zrcadly odraženy tak dlouho, až se mezi nimi vytvoří kontinuální světelná vlna, která polopropustným zrcadlem opouští rezonátor.

Plynový laser vyniká vysokým výkonem, kvalitním paprskem a účinností, která se pohybuje okolo 8 až 10 %. (1, 5, 11, 12, 13, 22)



Obr. 2.2 Schéma plynového laseru (10)

2.1.3 Porovnání pevnolátkového a plynového laseru

Odlišná konstrukce a princip buzení se projevuje i na odlišných vlastnostech laserového paprsku. V následující tabulce si porovnáme dva typické zástupce těchto laserů, a to pevnolátkový laser Nd:YAG a plynový laser CO₂.

Tab.2.1 Základní charakteristiky laserů (7)

Princip laseru	Nd:YAG	CO ₂
Vlnová délka [μm]	1,06	10,6
Aktivní médium	YAG krystal	plyn CO ₂
Řízení pohybu paprsku	flexibilně přes čočky, zrcadla, optické vlákna	odrazové zrcadla, pevné čočky
Max. hustota toku energie [W/cm ²]	10 ⁹	10 ⁷
Průměr paprsku [μm]	15	100
Šířka řezu [μm]	30	2000
Elektrická účinnost [%]	3 - 6	8 - 10
Střední výkon paprsku [W]	20 – 6 000	50 – 50 000
Mód	multimódový pw, cw, Qs	základní mód TEM ₀₀ pw, cw
Kvalita paprsku	slábne při vysokém výkonu	optimální
Přesnost	vysoká	střední
Vhodnost použití	vrtání, svařování, řezání, tepelné zpracování	řezání, svařování, tepelné zpracování, povrchové úpravy

2.2 Použití laserů ve strojírenství

Lasery si od svého vzniku našly široké uplatnění v řadě oborů a není tomu jinak ani ve strojírenství, kde poslední dobou tato technologie zažívá prudký rozvoj a lasery i jeho aplikace procházejí neustálou inovací.

V současné době se lasery používají ve strojírenství k několika operacím. A to nejčastěji k:

- řezání
- svařování
- značení a gravírování

2.2.1 Řezání laserem

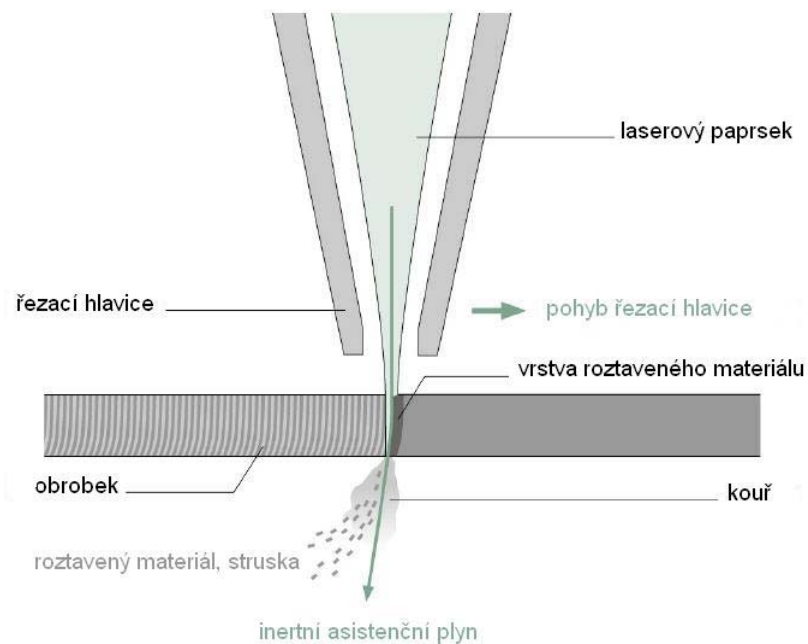
V současné době je tato metoda asi nejpoužívanějším využitím laseru. Laser je považován za univerzální nástroj při řezání materiálu a má široké možnosti využití jak pro malosériovou výrobu, tak i pro velkosériovou výrobu v dávkách.

Jako jedna z nesporných výhod řezání laserem se ukazuje použití vyřezaných dílů, díky své kvalitě, už i jako finálních výrobků, kdy odpadá kalibrování otvorů a tvarů, odstraňování otřepů. Další velká výhoda použití laseru při řezání je rychlost řezání a malá tepelně ovlivněná oblast.

Metoda zpravidla využívá plynného laseru CO₂, který se díky svým vlastnostem lépe hodí pro řezání. (1, 8, 10, 14, 15)

Vlastní řezání materiálu může probíhat těmito třemi základními principy: (1, 8, 10, 14, 15)

- **Laserové sublimační řezání** – laserový paprsek, který je přiváděn do materiálu, ohřívá materiál na teplotu odpaření. Tento vzniklý plyn je vytlačován pomocí inertního (asistenčního) plynu, který je přiváděn do řezací hlavy, směrem z řezu. Vzniká úzký řez s vysokou kvalitou řezné plochy.
- **Laserové tavné řezání** – laserový paprsek, který je přiváděn do materiálu ohřívá materiál nad teplotu tavení. Vzniklý materiál je pak z řezu vytlačován pomocí inertního (asistenčního) plynu přivedeného do řezací hlavy. Vyznačuje se vysokou rychlostí řezání a horší kvalitou řezné plochy.
- **Laserové řezání s aktivním plynem** – laserový paprsek, který je přiváděn do materiálu ohřívá materiál na zápalnou teplotu. Inertní (asistenční) plyn, který se přivádí do řezací hlavy, většinou kyslík, podporuje exotermickou reakci, která spaluje základní materiál. Vyniká vysokou rychlostí řezání a kvalitní řeznou plochou.



Obr. 2.3 Schéma řezání laserem (47)

Výsledek působení laseru na materiál je ovlivněn řadou technických a technologických parametrů viz Obr. 2.4. (1, 8, 10, 14, 15)

- soustava čoček (ohnisková vzdálenost)
- odrazivost paprsku
- laserový paprsek:
 - intenzita
 - vlnová délka
 - divergence
 - délka pulsu
- velikost stopy paprsku:
 - zfocusovaná intenzita záření
- materiál:
 - hustota
 - měrné teplo
 - tepelná vodivost
 - součinitel absorpce
 - tloušťka materiálu



horší jakost materiálu

lepší jakost materiálu

Obr. 2.4 Kvalita řezu v závislosti na jakosti materiálu

Optická soustava

Laserový paprsek vychází z rezonátoru a šíří se optickou soustavou, která je tvořena odrazivými zrcadly v trubici, do řezací hlavičky.

Tento paprsek vychází z rezonátoru jako lineárně polarizovaný. Tento paprsek nemá konstantní vlastnosti ve všech směrech řezání a je tudíž nutné tento paprsek polarizovat kruhově. Kruhová polarizace se děje pomocí vícenásobně povrstveného zrcátka, kdy část dopadajícího paprsku se normálně odráží a druhá dopadá hlouběji do povrstvení. Díky tomuto jevu se odráží s delší časovou prodlevou a vlny jsou fázově posunuty o 90° . Tato polarizace se může uskutečnit jen když je směr kmitání dopadajícího paprsku uspořádán v úhlu 45° oproti zrcátku. Vzniká tak kruhově polarizovaný laserový paprsek, který má stejné vlastnosti ve všech směrech řezání.

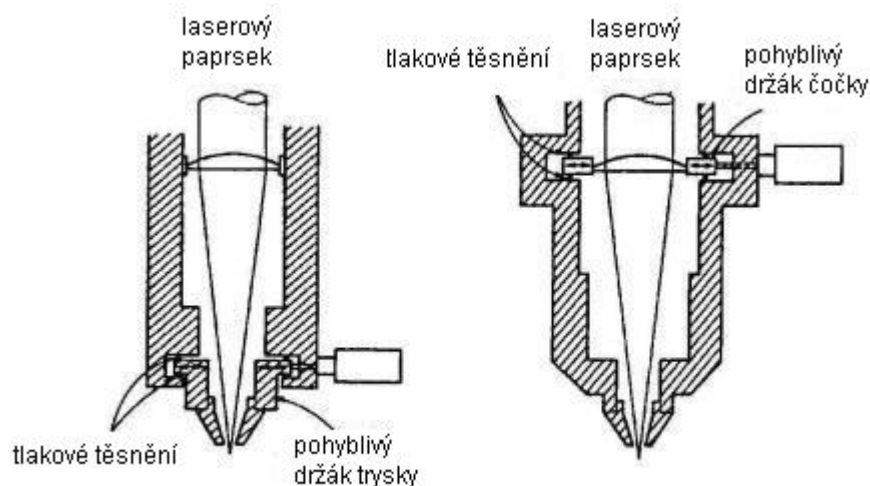
Trubice chrání jak okolí před vlivem paprsku, tak i paprsek před negativními vlivy okolního prostředí. Jakákoliv částička prachu, či kapička může způsobit nepatrný odraz paprsku, což má vliv na divergenci paprsku. Paprsek se musí šířit v prostředí s konstantním indexem lomu, které je zajištěno stálým a homogenním chemickým složením a stálou teplotou. Takové prostředí je zajištěno pomocí ochranné atmosféry, která je vháněna do trubic. (1, 8, 10, 14, 15, 22)



Obr. 2.5 Odrazivé zrcátko (49)

Řezací hlavice

Pro řezání různých tloušťek materiálů se používají různé řezací hlavice a různé průměry výstupních trysek. Tyto hlavice jsou vyměnitelné a skládají se z čočky, regulátoru výšky, přívodu inertního plynu a výstupní trysky. Řezací hlavice má dva základní druhy konstrukce podle uspořádání.



Obr. 2.6 Schéma a obrázek řezací hlavice (7)

Čočka je velmi významným prvkem v celém systému vedení paprsku. Nejčastěji se využívá u CO₂ laserů GaAs, ZnSe nebo Ge čočka, protože tato čočka dokáže fokusovat paprsek o vlnové délce 10,6 μm na rozdíl od pevnolátkového laseru který pracuje s vlnovou délkou 1,06 μm , kde se tyto speciální čočky používat nemusí. Čočky mají různé tloušťky a poloměry, ale nejčastěji se používají čočky s ohniskovou vzdáleností 5" a 7,5". Čočka upravuje paprsek tak, aby dosahoval co nejlepších parametrů pro řezání a to udržením vhodné focusace paprsku vůči obráběnému materiálu. Tato focusace by se měla pohybovat v rozmezí $\varnothing$ 0,05 – 0,25 mm během celého řezu.



Obr. 2.7 Čočka

Regulátor výšky dostává informace od senzorů a udržuje konstantní vzdálenost materiálu a čočky tak, aby paprsek byl vhodně focusován.

Tryska slouží k usměrnění proudu asistenčního plynu do místa řezu. Používá se vždy co nejmenšího průměru trysky, avšak musí se brát ohled na laminární proudění plynu a spotřebu plynu. Vnitřní stěna trysky nesmí omezovat procházející laserový paprsek. Průměry se nejčastěji pohybují v rozmezí 0,8 až 3 mm. V praxi lze říci, že čím větší je řezaná tloušťka, tím větší průměr otvoru potřebujeme. Roli hraje rovněž typ řezaného materiálu. (1, 8, 10, 14, 15)



Obr. 2.8 Trysky (50)

2.2.2 Svařování laserem

Svařování za pomoci laseru má řadu výhod. Oproti jiným technikám svařování je vhodné tam, kde je nutné svařovat náročné svary z hlediska kvalitativního a z hlediska sériové a hromadné výroby s požadavkem automatizovaného procesu.

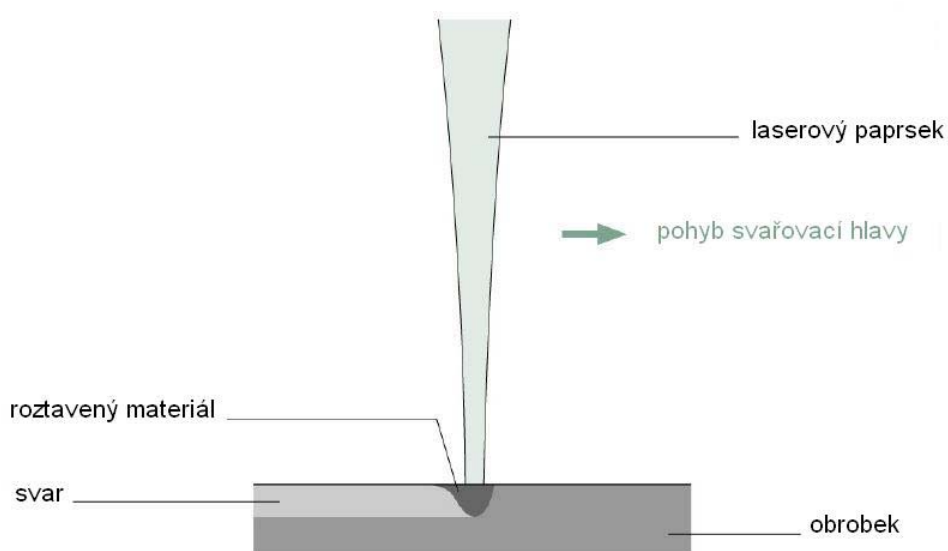
Pro svařování se spíše hodí pevnolátkové lasery, protože umožňují lepší vedení paprsku do svařovací hlavy robota, ale není vyloučeno i použití CO₂ laserů.

Laser poskytuje vysokou energii, kterou lze svářet i materiály s vysokým bodem tání a také i odrazivé materiály. Laser se nechá použít i na mikrosvary a svařování nepřístupných míst.

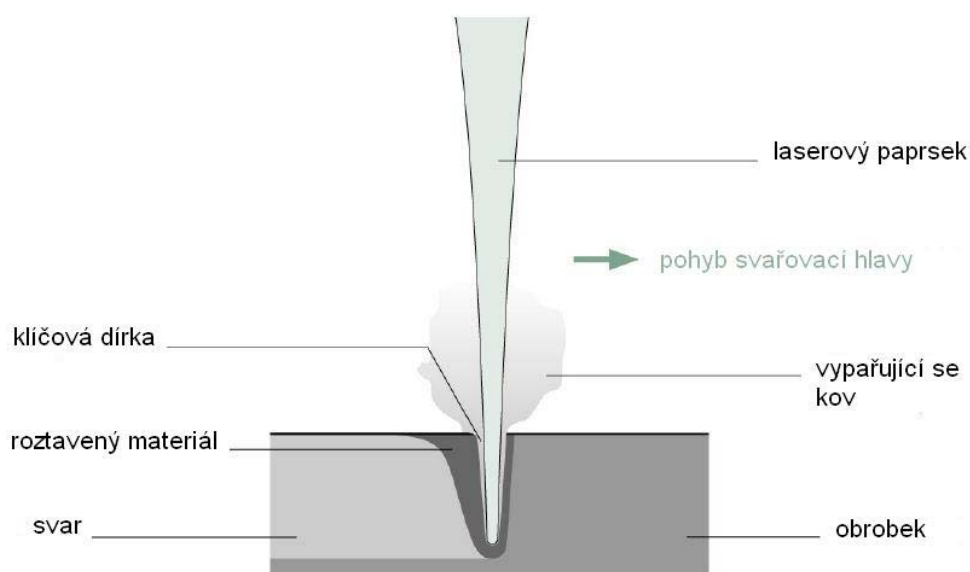
Výkon laseru pro svařování se nejčastěji pohybuje v rozmezí 0,5 – 9 kW, tento paprsek je možné zfocusovat na průměr 0,5 mm a menší. V ohnisku zfocusovaného paprsku se dosahuje koncentrace výkonu až 10^{12} W/cm². Takovýto paprsek ohřívá materiál mnohonásobně rychleji, než odvádí teplo okolí, proto se materiál ohřívá pouze lokálně a nedochází zde k tepelnému poškození okolí svaru. (16, 15, 17, 22)

Svařování za pomoci laseru může probíhat pomocí těchto dvou technologií: (16, 15, 17, 22)

- **Kondukční svářování** – K tomuto procesu se používá krátkých impulsů pevnolátkového laseru. Laserový paprsek materiál roztavuje pouze na povrchu a díky tomu se v materiálu vytváří svar hluboký pouze několik desetin milimetru. Tato technologie se nejčastěji používá v lékařství a elektrotechnickém průmyslu, kde je potřeba těchto kvalitních malých svarů.
- **Hluboké svařování „KEY HOLE“** – U této technologie svařování se používají CO₂ lasery pracující v kontinuálním režimu. Pokud se vhodně zkombinují parametry svařování jako jsou například rychlost svařování, výkon laseru apod. dochází v materiálu k efektu tzv. klíčové dírky. Přehřátý materiál je okamžitě z místa svaru odpařen a tlak vzniklých plynů vytváří v materiálu hlubokou a úzkou dutinu. Tato dutina je tvořena tenkou vrstvou taveniny, která při pohybu laserem uzavírá svarovou lázeň gradientem povrchového napětí. Za touto dutinou roztavený kov rychle krystalizuje a vzniká tak svarový spoj, který je hluboký a úzký. Díky tomu se můžou svařovat větší šířky materiálů bez použití přídavného materiálu. Do oblasti svaru je při svařování přiváděn asistenční plyn, který zabraňuje oxidaci a pórovitosti v místě svaru, popř. ovlivňuje geometrii svaru. Tento svar je pak velmi kvalitní, celistvý a neobsahuje cizí příměsi. Tato technologie se úspěšně využívá například při výrobě převodovek, profilů, tlustostěnných trubek, atd.



Obr. 2.9 Schéma kondukčního svařování laserem (47)



Obr. 2.10 Schéma hlubokého svařování laserem (47)

Optická soustava

Soustava je stejná jako u CO₂ laserů pro řezání, ovšem jelikož pevnolátkový laser pracuje s vlnovou délkou 1,06 μm , realizuje se vedení paprsku do svářecí hlavy i pomocí optických vláken. (16, 15, 17, 22)

Svařovací hlava

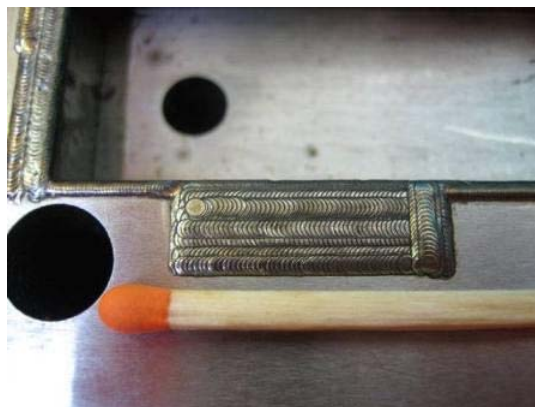
Slouží k focusaci paprsku, který je přiveden z rezonátoru, a zaostřuje rovnoběžný paprsek do místa svaru. Focusace může být provedena buď dutým zrcadlem nebo se spojnou čočkou. Tyto zrcadla nebo čočky je pak

nutné chránit před znečištěním rozstříkem z místa svaru, což je většinou realizováno pomocí příčné vzduchové clony, která čočku ofukuje plynem, nejčastěji N₂. (16, 15, 17, 22)

Doplňkové systémy

Pohyb laserového paprsku při svařování je přesně naprogramovaný a uskutečňován pomocí CNC systému. Avšak existuje zde riziko odchýlení tohoto paprsku z dráhy skutečného svaru a to především díky křivosti plechu, posunutého přípravku apod. Aby k tomuto nedocházelo, byly vytvořeny zpětnovazební systémy, které jsou schopny navádět paprsek přesně do místa svaru a udržovat správnou vzdálenost svařovací hlavy od místa svaru.

Tyto systémy jsou většinou založeny na principu nízkovýkonových laserů ve spojení se sledovacím fotoelementem například CCD kamerou, které přesně hlídají pozici a vzdálenost svařovací hlavy vůči svařenci. (16, 15, 17, 22)



Obr. 2.11 Ukázka svaru (18)

2.2.3 Gravírování a značení laserem

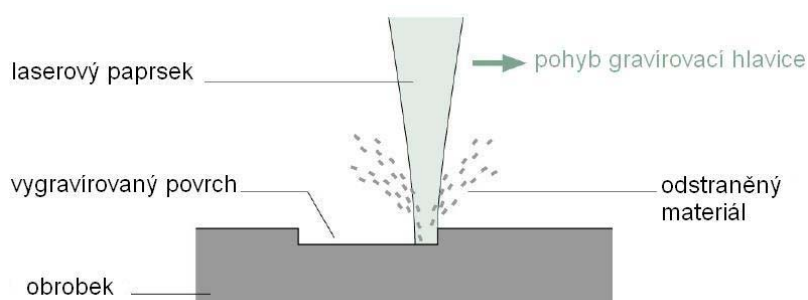
Gravírování a značení výrobků za posledních několik let dosáhlo díky laserům úplně nových možností použití. Mezi nesporné výhody laserového značení patří rychlost, flexibilita změny označení, možnost změny motivu popř. sériového čísla u každého výrobku, možnost značení grafických motivů a alfanumerických znaků, popř. jejich kombinací. Celý proces je navíc řízen pomocí PC. Tato technologie umožňuje velmi přesné značení převážně většiny kovových i nekovových materiálů.

Gravírování používá jak plynné lasery CO₂, tak i pevnolátkové lasery Nd:YAG a to s ohledem jaký materiál a jak hluboko chceme značit. CO₂ lasery jsou vhodné na práci s organickými materiály (guma, papír, dřevo, sklo, atd.) a je převážně používán k odstranění tenkých vrstev nebo barev z povrchu materiálu. Nd:YAG laser je vhodný pro značení kovů, plastů, keramiky, atd. a je používán ke gravírování do větších hloubek. Hloubka gravírování se nejčastěji pohybuje v rozmezí 0,0125 mm až do 0,15 mm. Při opakovaném

značení místa se může dosahovat větších hloubek, řádově milimetry, a tím i reliéfu povrchu. (5, 18, 19, 20, 21)

Principy použití laserové technologie pro gravírování: (5, 18, 19, 20, 21)

- **Tavení a odpaření materiálu** – největší využití nachází u popisování a gravírování kovů.
- **Zuhelnatění povrchu** – největší využití nachází u popisování plastů, kdy pomocí různých kombinací parametrů můžeme měnit sytost a zabarvení materiálu.



Obr. 2.12 Schéma gravírování (47)

Oblast uplatnění

Jelikož laserem vzniklý popis je velmi odolný proti mechanickému a chemickému působení a zároveň je vysoce přesný a kontrastní, našla si tato technologie velmi velikou oblast využití. Technologie gravírování se hojně využívá v gravírování vstřikovacích a lisovacích forem, vyjiskřovacích mředěných i uhlíkových elektrod, vyhazovačů, datumovek, razníků a razidel, značení leštěných a broušených dílů, značení dílů s povrchovou úpravou (barva, chrom, nikl, elox atd.) dílů, polotovarů, finálních výrobků a součástek, značení nástrojů, kalibrů měřidel, plastových výlisků, popisu stupnic a čísel měřidel a mnoha dalších možných způsobů použití. (5, 18, 19, 20, 21)



Obr. 2.13 Ukázka gravírování (18)

2.3 Výhody a nevýhody laserů

2.3.1 Výhody

Laser má ve strojírenství nesmírnou řadu předností oproti konvečním způsobům obrábění a neustále se hledají nové možnosti použití laseru. (1, 22)

- bezkontaktní a bezsilové obrábění
- malá tepelně ovlivněná oblast
- řezná spára velmi malá, lze dodržet toleranci 0,05 mm
- lze vytvářet jakýkoliv tvar bez výměny nástroje
- provoz laseru je tichý a čistý
- laser lze pomocí optické soustavy zavést z jednoho zdroje na několik pracovišť
- laser umožňuje obrábění i velmi těžkoobrobitelných materiálů, při vysoké rychlosti obrábění
- možnost řezání všemi směry, která umožňuje programové řízení pomocí CNC systému
- extrémní koncentrace a hustota energie, jednoduchá regulace výkonu a snadné ovládání
- odpadají nástroje v klasickém slova smyslu a tedy i jejich údržba
- přípravné práce a seřizování jsou časově poměrně málo náročné
- možnost zařadit do automatizovaných pružných výrobních systémů
- svařování i obtížně dostupných míst
- malá tepelná pnutí a deformace uvnitř materiálu
- minimální dokončovací operace

2.3.2 Nevýhody

Lasery mají ovšem díky svým fyzikálním vlastnostem a nákladům spojených s jejich výrobou řadu nevýhod. (1, 22)

- vysoká pořizovací cena
- účinnost asi jen 10% vůči příkonu zařízení
- přísná bezpečnostní opatření
- ekologičnost

2.4 Použití laserů v praxi

Lasery zaznamenaly během svého vývoje značný pokrok. Díky výhodám použití laserů oproti klasickým konvenčním způsobům si lasery značně rozšířily a dnešní konstruktéři a technologové již počítají s jejich použitím při navrhování nových součástí.

Nejvíce rozšířené je využití laserů k řezání. Lasery jsou v dnešní době čím dál více dostupnější a mohou si je dovést a používat menší firmy k nejrůznějším účelům. V dnešní době lasery používají jak firmy, které mají jen několik málo zaměstnanců, tak i firmy s tisíci zaměstnanci. Proto bychom si zde uvedli několik typických zástupců českých firem, kteří používají tuto laserovou technologii k řezání.



2.4.1 Irisbus, Iveco Czech Republic, a.s.

Společnost Irisbus (bývalá firma Karosa) má dlouholetou tradici v automobilovém průmyslu a to především ve výrobě autobusů.

Historie výroby silničních vozidel ve Vysokém Mýtě se začala psát již v roce 1895, kdy Josef Sodomka založil firmu "První východočeská výroba kočárů Josefa Sodomky". V roce 1948 byla firma znárodněna a dostává nový název KAROSA n.p. Po změně režimu v roce 1989 byl podnik zprivatizován a dnem 1. 7. 1993 vznikla KAROSA a.s., která tehdy měla 1706 zaměstnanců zabývajících se výrobou autobusů. 2. 11. 1993 francouzský Renault V.I. odkoupil 34 % akcií společnosti Karosa a vytvořil tím tak společný podnik Karosa - Renault. To byl počátek úzké spolupráce mezi Karosou a Renault V.I. v obchodní, průmyslové, finanční a personální oblasti. 1. 2. 1999 vzniká společný podnik francouzského Renaultu a italského Iveca s názvem IRISBUS Holding S.L., který již vlastní 94% akcií Karosy. S účinností od 1. 1. 2007 se název společnosti KAROSA a.s. změnil na Iveco Czech Republic, a. s. a definitivně tak zanikla značka autobusů Karosa. Autobusy Irisbus jezdí po celém světě a roční produkce se pohybuje okolo 9000 autobusů. Z tohoto počtu ve Vysokém Mýtě vzniká přibližně 2000 autobusů, kdy firma má přibližně okolo 2700 zaměstnanců. (23)

Důvod pořízení

Jak je vidět firma se neustále rozvíjí a s rozvojem dnešní techniky vzrůstá neustále požadavek na kvalitní autobusy a rychlou výrobu. Proto se francouzský Renault po spojení s firmou Karosa rozhodl přenést technologii řezání za pomoci laseru, kterou znal ze svých mateřských závodů ve Francii i do České republiky.

Strojové vybavení

- 1996 první laserové centrum TRUMPF TLF 1500 o výkonu 1500 W
- 2001 další laserové centrum o výkonu TRUMPF TLF 3200 3200 W
- 2006 pořízení tři laserových center
 - laserové centrum TRUMPF TLF 3200 o výkonu 3200W
 - další dvě laserová centra TRUMPF TLF 4000 o výkonu 4000 W
- V horizontu dvou let je počítáno s pořízením dalšího centra.

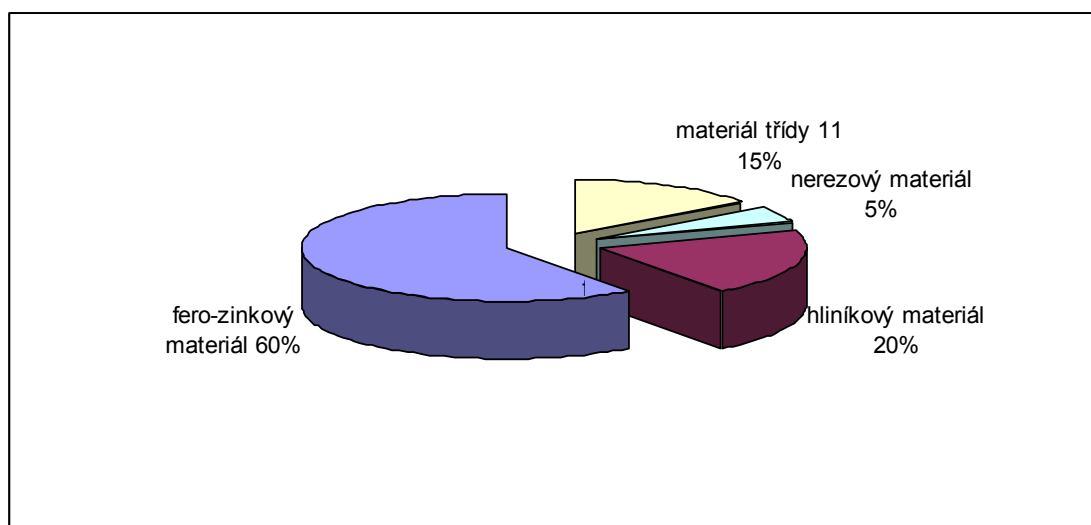
Časové využití stroje

Firma v současné době pracuje na všech laserech ve tří směnném provozu po 8 hodinách, kdy první směna začíná v neděli ve 22:00 hod. a poslední směna končí v sobotu v 6:00 hod. O víkendu firma pracuje na 12ti hodinové směny od 6:00hod. Jak je vidět na směnnosti, lasery zde pracují téměř nepřetržitě.

Na údržbu a servisní prohlídky strojů je ročně vyčleněno 14 dní během celozávodní dovolené, kdy se musí seřídít a zkontrolovat všech 5 center.

Technologické využití stroje

Firma si řezé výrobky pouze pro svou výrobu a z celkového množství vyřezaných dílů, které firma potřebuje si nechává v kooperaci vyrobít cca 20 %. V současné době se zde řezou pouze materiály do tloušťky 3 mm a materiály o tloušťce 4, 5, 6 mm, se zadávají do kooperace.



Obr. 2.14 Podíl řezaných materiálů ve firmě Irisbus



2.4.2 Abner a.s.

Firma Abner a.s. je tradiční česká firma, která se zabývá výrobou kuchyňských zařízení z nerezové oceli a tlakových nádob na CO₂.

Historie firmy sahá až do 80. let 19. století, kdy byla založena stříbrnická dílna a výroba podnosů, pudřenek, cigaretových pouzder a dóz. V průběhu druhé světové války musela být veškerá výroba přeorientována k válečným účelům a firma vyráběla součástky do leteckého průmyslu. Po druhé světové válce byla firma nucena se sloučit s ostatními menšími firmami a vznikl tak Sandrik s.p., který ještě několikrát změnil své jméno na Rostex a nebo Toner. V 80. letech firma začíná spolupracovat s firmou Rade Končar na výrobě nerezových zařízení pro stravování. Po listopadových událostech se firma dělí na Toner a Abner s.r.o., kdy firma začíná vyrábět i tlakové patrony do hasících přístrojů apod. 1999 vzniká firma Abner a.s. V roce 2004 se firma rozhodla prodat svou výrobu tlakových nádob a soustředit se pouze na výrobu zařízení pro gastronomii a stravování. V současné době má firma okolo 100 zaměstnanců. (24)

Důvod pořízení

Jedním z důvodů pořízení laseru firmou Abner a.s. bylo upřednostnění výroby gastronomických a stravovacích zařízení z nerezového materiálu. Řezání pomocí laseru pomohlo ke zvýšení výrobních kapacit a efektivity práce a hlavně z hlediska nerezových produktů podstatně rozšířilo možnosti firmy v oblasti vývoje a urychlení výroby.

Strojové vybavení

- 2004 první laserové centrum BYSTRONIC – Bysprint 2200 o výkonu 2200 W
- O dalším laserovém centru se uvažuje v horizontu pěti let.

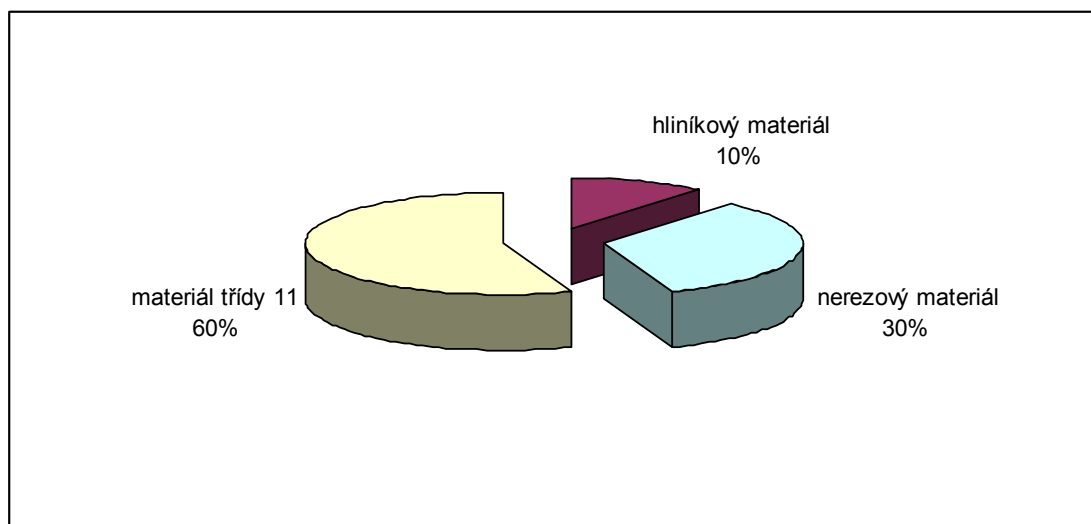
Časové využití stroje

Firma v současné době využívá laser ve dvousměnném provozu od 6:00 hod. do 14:00 hod. a od 14:00 hod. do 22:00 hod. V případě nárazových zakázek je laser využit krátkodobě i ve třísměnném provozu.

Na údržbu a servisní prohlídky strojů jsou ročně vyčleněny čtyři hodiny za 14 dní. A na roční servis tři dny.

Technologické využití stroje

Firma řeže v 40 % celkového využití laseru pro svou vlastní výrobu a zbylých 60 % řeže zakázky v kooperaci. Předpokládaný cíl firmy je srovnat podíl řezání pro svou vlastní potřebu a řezání v kooperaci 1:1.



Obr. 2.15 Podíl řezaných materiálů ve firmě Abner



2.4.3 S & Ř, CH KOVO s.r.o.

Firma S & Ř, CH KOVO se zabývá zpracováním tenkých plechů od dělení, přes tvarování a svařování až po konečnou úpravu práškovými laky a dále pak zámečnickou výrobou.

Firma byla založena v roce 1993 z bývalé přidružené výroby Zemědělského družstva Chroustovice, kdy převzala výrobu odsavačů a dodávky pro firmu Karosa. V současné době firma vyrábí díly pro klimatizace a odsávače a svůj stálý výrobní program doplňuje o výrobky, které vyrábí v kooperaci. Firma se neustále vyvíjí a roste, a to hlavně díky investicím do nových technologií a rozšiřování výrobních kapacit a prostorů. Proto lze říci, že k dnešnímu dni se jedná o moderní firmu, vybavenou špičkovým vybavením v možnostech současné techniky. Rozvoj firmy je vidět i na počtu zaměstnanců, kdy k dnešnímu dni z počátečních 10 zaměstnanců už zaměstnává 71 zaměstnanců. (25)

Důvod pořízení

Jedním z důvodů byly dlouhé dodací doby firem, které pro tuto firmu řezali výrobky, které následně firma potřebovala k dalšímu zpracování. Dalším důvodem pořízení laseru bylo zachování dlouhodobé spolupráce s firmou Irisbus Iveco.

Strojové vybavení

- 2002 první laserové centrum BYSTRONIC – Bysprint 3015 o výkonu 2200 W
- 2007 další laserové centrum BYSTRONIC – Byspeed 4020 o výkonu 4400 W
- O dalším laserovém centru se v nejbližší době neuvažuje.

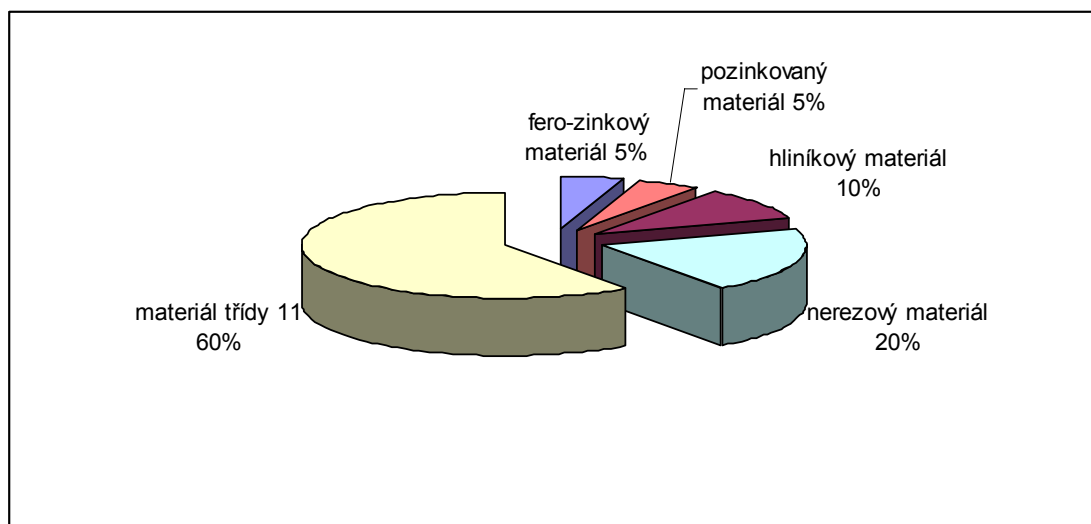
Časové využití stroje

Firma v současné době pracuje ve třisměnném provozu od 6:00 hod. do 14:00 hod., druhá směna od 14:00 hod. do 22:00 hod. a poslední směna je od 22:00 hod. do 6:00 hod. během pracovního týdne. Při zvýšení počtu zakázek se využívá laserové centrum i o víkendových směnách.

Na údržbu a servisní prohlídky strojů je ročně vyčleněno 100 hodin na práci servisního technika a dalších 100 hodin, než servisní technik přijede, pokud se objeví nepředvídatelný problém. V součtu nám dávají plánované i neplánované odstávky cca 10% z celkového času možného použití laseru.

Technologické využití stroje

Firma využívá 30 % chodu laserového centra pro vlastní výrobu, zbylých 70 % zpracovává zakázky v kooperaci.



Obr. 2.16 Podíl řezaných materiálů ve firmě S & Ř, CH KOVO



2.4.4 SW-MOTECH s.r.o.

Firma SW-MOTECH s.r.o. se zabývá výrobou doplňků na motocykly a je dceřinou firmou SW-MOTECH GmbH. Německo.

Firma byla založena v roce 1998 jako Kovovýroba Vojkovice s. r. o. a v roce 2003 byla koupena firmou SW-MOTECH GmbH. Firma, aby mohla splňovat vysoké požadavky od své mateřské firmy, je proto vybavena moderními stroji, mezi které patří i laserové centrum. V současné době má firma asi 50 stálých zaměstnanců. (26)

Důvod pořízení

Důvodem pořízení laseru firmou SW-MOTECH byla úspora času vůči objednávání zakázek, které si nechávala firma vyrábět v kooperaci. Dalším z důvodů pořízení byla možnost vyrábět po malých sériích a možnost vyrábět prototypy, což firmě výrazně zvedá možnost konkurenceschopnosti.

Strojové vybavení

- 2008 první laserové centrum TRUMPF – TruLaser 3030 o výkonu 4000 W.
- O dalším laserovém centru se v nejbližší době neuvažuje.

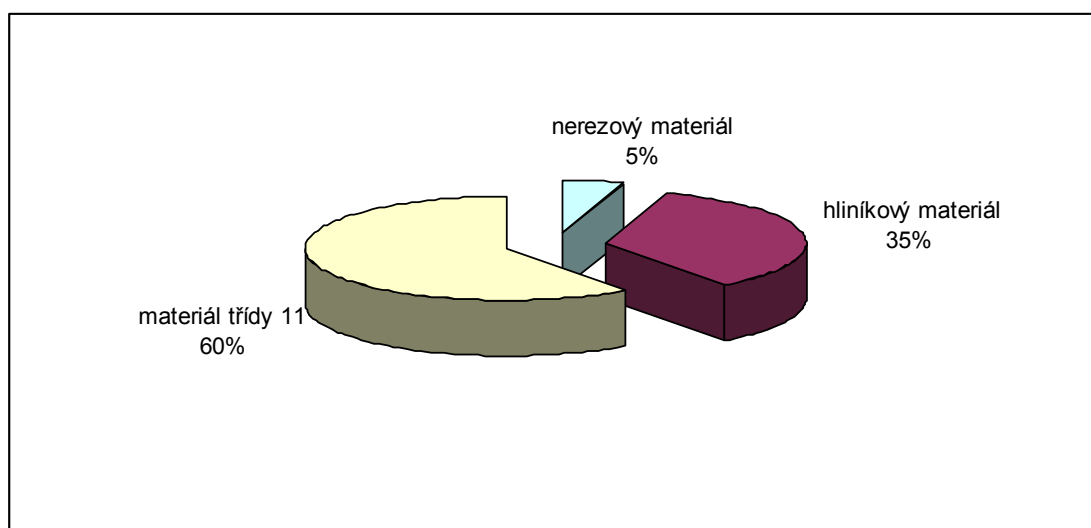
Časové využití stroje

Firma v současné době pracuje ve dvousměnném upraveném provozu. První směna pracuje od 7:00 hod. do 16:00 hod. pět dní v týdnu a druhá směna od 16:00 hod. do 04:00 hod. čtyři dny v týdnu.

Na údržbu stroje jsou vyčleněny dvě hodiny za 14 dní. A na servisní prohlídky jeden den za rok.

Technologické využití stroje

Firma využívá laser k výrobě vlastních výrobků a prototypů, z toho vyplývá, že laser je využit na 100 % pro potřebu firmy SW-MOTECH.



Obr. 2.17 Podíl řezaných materiálů ve firmě SW-MOTECH

2.4.5 Technologické centrum a.s.



Technologické centrum se zabývá výhradně řezáním laserem přidruženou výrobou výrobků v kooperaci pro širokou klientelu zákazníků.

Firma byla založena v roce 1995 několika nadšenci, kteří se zajímali o technologii řezání laserem. V Technologickém centru byl instalován jeden z prvních laserů v České republice. Společnost se neustále rozvíjela, ale potřebovala silného finančního partnera, kterým se stala v roce 1996 belgická firma Mecanic systems S. A.. V roce 2002 se firma přestěhovala do vlastních prostor v městské části Brno - Maloměřice. Firma v současné době zaměstnává 50 zaměstnanců. (27)

Důvod pořízení

Důvodem pořízení bylo zavedení nové technologie do České republiky a využití potenciálu, který tato technologie představovala do budoucna.

Strojové vybavení

- 1997 pořízení 2 laserových center
 - laserové centrum BYSTRONIC – Bystar 3015 o výkonu 3000 W
 - laserové centrum TRUMPF – Trulaser 3030 o výkonu 2600 W
- 2004 další laserové centrum BYSTRONIC – Byspeed 5200 ARC o výkonu 5200 W
- 2006 další laserové centrum TRUMPF – Trulaser 3050 o výkonu 5000 W

- 2008 další laserové centrum TRUMPF – Trulaser 2030 o výkonu 2000 W
- V současné době se uvažuje o obměně nejstaršího centra v horizontu 1 roku

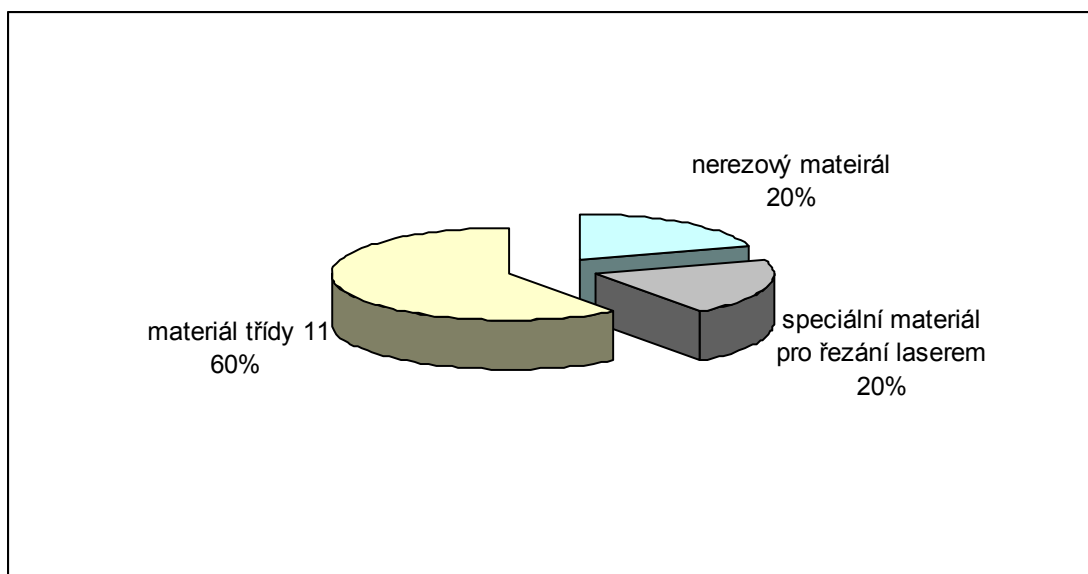
Časové využití stroje

Firma v současné době pracuje ve třísměnném provozu od 6:00 hod. do 14:00 hod., druhá směna od 14:00 hod. do 22:00 hod. a poslední směna je od 22:00 hod. do 6:00 hod. a to během pracovního týdne. O víkendu je pouze jedna směna a to v sobotu od 6:00 hod. do 14:00 hod.

Na údržbu a servisní prohlídky strojů je ročně vyčleněno 5 % z celkového chodu stroje a firma počítá se 100 hodinami ročně na neplánované odstávky laserů.

Technologické využití stroje

Firma nemá žádný vlastní výrobní program a všechny zakázky jsou uskutečňovány pro kooperaci.

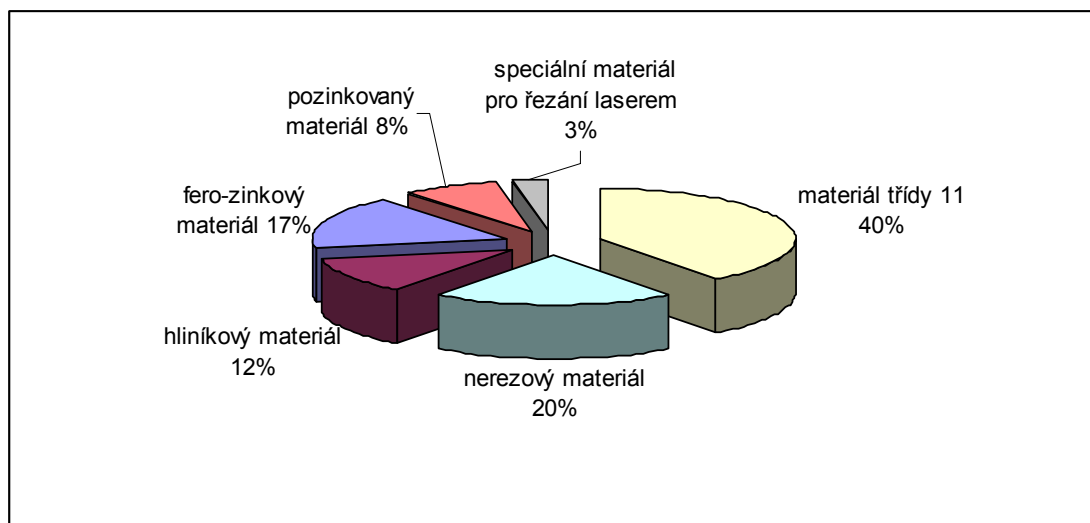


Obr. 2.18 Podíl řezaných materiálů ve firmě Technologické centrum

2.4.6 Zhodnocení

Tento pět výše uvedených firem se nechá použít jako dostatečný statistický vzorek pro zhodnocení současné situace v České republice v oblasti řezání za použití laserové technologie.

V současné době jsou tato laserová centra většinou používány ve firmách, kdy se počet zaměstnanců pohybuje v rozmezí 50 až 100. Tyto firmy řezou část produkce pro svou potřebu a část pro ostatní firmy v kooperaci. Výjimku tvoří velké firmy, jako je například Irisbus, která má okolo 2700 zaměstnanců a výhradně si řezou materiál pro svou výrobu. Zbytek produkce si nechávají vyrábět od jiných firem v kooperaci. Druhou výjimku tvoří firmy jako je například Technologické centrum, které nemají svůj stálý výrobní program a všechny výrobky řezou v kooperaci jiným firmám.



Obr. 2.17 Odhad podílu řezaných materiálů v České republice

Důvodem pořízení laserové technologie ve většině firem byly dlouhé dodací lhůty od jiných dodavatelů, přenesení technologie od mateřských firem, nebo díky požadavkům zákazníků. Mezi další důvody, pro které si tyto firmy pořizují laserovou technologii patří úspora času při výrobě, možnost výroby prototypů a větší efektivita výrobního procesu.

Nejvíce jsou v České republice používány laserová centra od německé firmy Trumf a od švýcarského výrobce těchto center firmy Bystronic. Průměrné stáří těchto center se pohybuje okolo pěti let. A cca 60 % firem v horizontu dalších pěti let uvažují v současné době o pořízení nového laserového centra.

Laserová centra jsou využívána ve většině firem na dvou až třisměnný provoz během pracovního týdne a příležitostně směny o víkendech. Nemalou část potencionálního chodu laserových center firmám zaberou i plánované a neplánované odstávky, kdy je potřeba centra zkontrolovat a provést na nich údržbu a servis.

3 NOVÉ APLIKACE

Laserové technologie během svého krátkého vývoje se neustále vyvíjí a vyvíjí se i možnosti jejich použití ve strojírenství. Ne všechny směry, kterými se laserové technologie vyvíjí nebo vyvíjeli představovali rozvoj pro tuto technologii, proto bychom si v následující kapitole ukázali několik aplikací laseru, které by si mohli najít svoje místo ve strojírenství a mají k tomu dobře nakročeno.

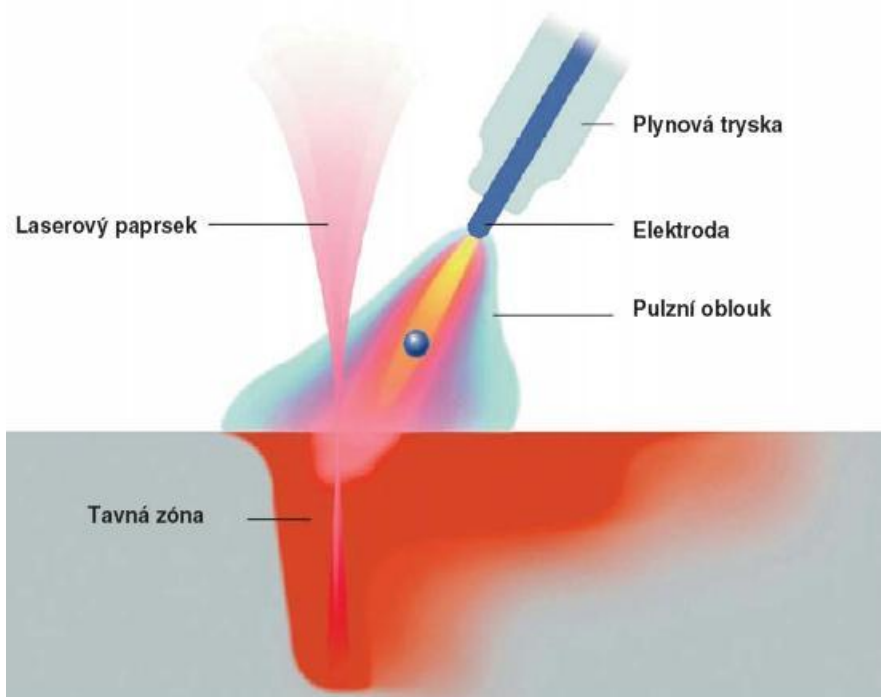
3.1 Hybridní laserové svařování - Laserhybrid

Svařování Laserhybrid je technologie, se kterou přišli vývojoví technici společnosti Audi a Fronius, když hledali nové vhodné možnosti a technologie při svařování automobilových karosérií.

3.1.1 Konstrukce

Laserhybrid kombinuje klasické svařování pomocí laseru (nejčastěji pevnolátkového laseru Nd:YAG) spojené nejčastěji s metodou MIG/MAG obloukového svařování v ochranném plynu tavící se elektrodou.

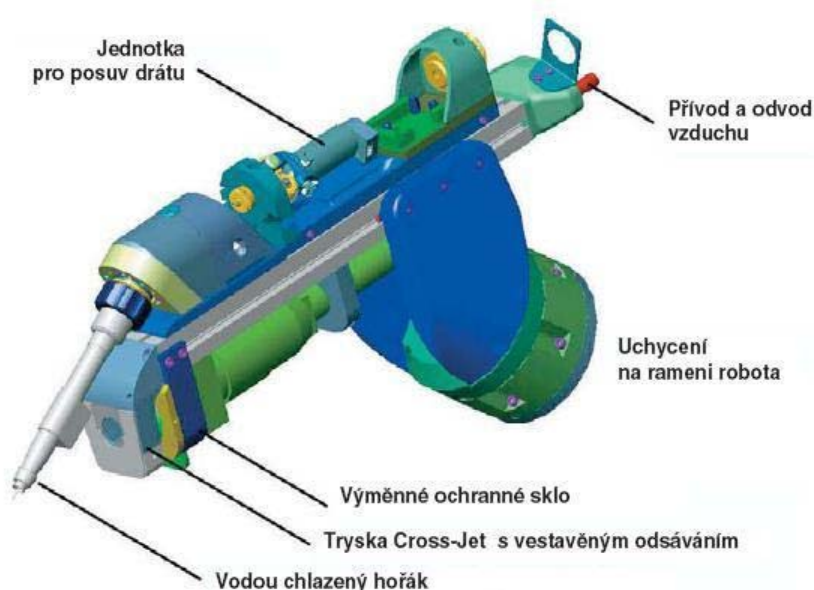
Laser taví svarový spoj a většinou impulsním přenosem kovu se do tavné lázně dodává i přídatný materiál z drátu. (17, 32, 33)



Obr. 3.1 Schéma hybridního svařování (32)

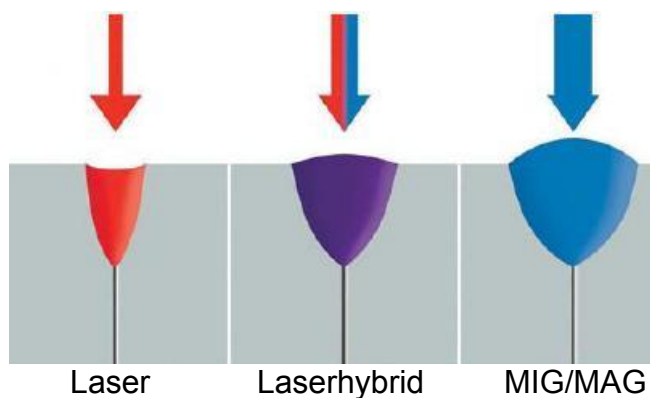
Svařovací hlava

Svařovací hlava je navržena tak, aby se nechala použít na průmyslových robotech a byla co nejmenší, aby se dostala do všech míst, které jsou i hůře přístupná. Hlava se tudíž může otáčet o 180° a umožňuje i velmi velký vertikální posuv na rameni robota. Součástí hlavy je i tryska Gross-Jet, která byla speciálně navržena, aby na jejím výstupu docházelo ke zvyšování rychlosti, která může být až nadzvuková a docházelo tudíž k lepšímu odklánění rozstříků. Proud vzduchu, který vystupuje z trysky je odsáván do výfukového kanálu. Toto odsátí se příznivě projevuje na pracovním prostoru svaru, který není ničím znečištěn. (17, 32, 33)



Obr. 3.1 Schéma hybridního svařování (32)

3.1.2 Geometrie svaru



Obr. 3.2 Geometrie svaru (32)

Laserový svar je vyduť. Pokud chceme metodou MIG dosáhnout stejného závaru dosahuje pak svár velkého převýšení a objemu, při zachování rychlosti svařování. Proto je výhodné používat metodu Laserhybrid, která kombinuje tyto metody a vzniká tak jen mírně vypouklý svár s mírnou šířkou závaru. To vše s poloviční rychlostí podávání drátu oproti metodě MIG a s menším výkonem laseru než u laserového svařování. (17, 32, 33)

3.1.3 Výhody

V porovnání s laserovým svařováním:

- lepší přemostění mezi materiály, nemusí se dodržovat tolik tolerance
- do svaru je přiváděn přídavný materiál a ten zvyšuje pevnost svaru

V porovnání s MSG svařováním (svařování v ochranných plynech):

- vyšší rychlost svařování
- snížení tepelně ovlivněné oblasti
- hloubka závaru je hlubší
- odpadá příprava svařování
- lepší kvalita svaru
- teplotně rovnoměrný svar

(17, 32, 33)

3.1.4 Možnosti využití ve strojírenství

Možnosti využití laserhybridu jsou především ve velkosériových výrobcích převážně hliníkových konstrukcí, kde se nechají použít robotizované svařovací linky či centra. V současné době se jedná především o oblasti automobilového, lodního, leteckého průmyslu a o výrobu vagonů, kde je nutné dodržovat vysokou jakost svaru, popřípadě svařovat velké tloušťky materiálů. Další z možných použití laser hybridu je svařování vysokolegovaných a nelegovaných povlakových ocelí. (17, 32, 33)

3.2 Remote svařování

Tato technologie svařování je založena na skenování materiálu za pomoci 3D optiky a nejčastěji pevnolátkového laseru. Paprsek je pomocí rychlejšího zrcátka a placentrické čočky vychylován. Placentrická čočka slouží k tomu, aby při naklonění zrcátka paprsek vždy dopadal kolmo dolů. To umožňuje to, že svařovací hlava robota zůstává v jednom místě nad svařovaným materiálem, které může být až 0,5 m vzdálené od materiálu a

svařuje tím materiál pod hlavou a okolí které může být vzdálené až 0,15 m od osy svařecí hlavy. (22)

3.2.1 Výhody

- rychlejší proces díky pohybu jen paprsku, oproti kinematice robota
- odpadá pohyb ve třech osách

(22)

3.2.2 Možnosti využití ve strojírenství

Tuto technologii lze s výhodou použít tam, kde se v současnosti používá klasické laserové svařování pomocí robotů. (22)

3.3 Laserové pájení

Jedná se o pájení kdy, je jako zdroj tepla pro roztavení přídavného materiálu použito laserového paprsku. Je rozlišováno pájení na měkko do 450 °C, které nachází své uplatnění především v elektrotechnice a pájení natvrdo nad 450 °C. (22, 43)

3.3.1 Výhody

- vyšší rychlosti oproti klasickému způsobu pájení
- menší tepelně ovlivněná oblast
- menší ekonomické náročnost, než laserové svařování
- odpadá potřeba dalšího opracování
- možnost používat i levnější pájky na bázi mědi na tvrdé pájení

(22, 43)

3.3.2 Možnosti využití ve strojírenství

Tato technologie se nechá užít tam, kde není potřeba taková tvrdost a pevnost spojovaných materiálů a kde vzdálenost mezi svařovanými součástmi přesahuje 3 až 5 % tloušťky těchto materiálů. To znamená, že tato technologie se uplatňuje v automobilovém průmyslu na díly karosérií a podobné aplikace, opravárenství atd. (22, 43)

3.4 Mikroobrábění a vrtání

Tato technologie je založena na velmi krátkých pulzech, které mají vysokou energii. Nechá se dosáhnout i délky pulzu pod 100 fs. Jelikož je systém mikroobrábění a vrtání založen na pulzech používají se k jeho provedení pevnolátkové lasery. Díky těmto pulzům se nechá obrábět prakticky každý materiál, kdy je pulsem odpařena malá vrstvička materiálu. (22)

3.4.1 Výhody

- možnosti obrábění velmi malých ploch, které by se nedali jinak opracovat
- odpadá potřeba dalšího opracování

(22)

3.4.2 Možnosti využití ve strojírenství

Mikroobrábění lze využít k nejširšímu spektru úkonů ať již ve strojírenství nebo v elektrotechnice a medicíně, kde je mikroobrábění používáno při výrobě umělých kyčelních implantátů. Jedním z možných využití ve strojírenství je opracování hlavy válců, kdy jsou do hlavy válce vytvořeny mikro důlky, v nichž se udržuje olej a napomáhá tak k lepšímu mazání motoru, aniž by docházelo ke zvýšené spotřebě oleje. To samé se dá říci i o vrtání, kdy je potřeba v materiálu vytvářet velmi malé díry, které by nešly jiným způsobem zhotovit. (22)

3.5 LMT - výroba diamantových kotoučů pomocí laserů

Speciální směs kovového prášku a průmyslových diamantů je tryskou nastříkána na nosný kotouč. Tato směs je zároveň laserem na kotouč navařena. (35)

3.5.1 Výhody

- delší životnost kotouče
- rozdílné segmenty délek

(35)

3.5.2 Možnosti využití ve strojírenství

Tyto kotouče jsou vhodné pro dělicí brusky, kdy se dají použít pro řezání ručními bruskami nebo pilami. Další využití nachází tato technologie při povlakování různých materiálů. (35)

3.6 Selective Laser Sintering

Jedna z metod rapid prototypingu. Při této metodě vytváření modelů se využívá laseru k vytvrzování prášku. Tento prášek je nanášen po určitých krocích na desku v komoře, kde je inertní atmosféra. Pomocí laseru je pak prášek příslušný dané vrstvě modelu nejdříve ohraničen a následně vytvrzen. Po tomto vytvrzení se platforma posune směrem dolů o příslušný krok a celý proces se opakuje. (41, 42)

3.6.1 Výhody

- rychlá výroba prototypů
- levnější oproti zhotovování modelu klasickými způsoby

(41, 42)

3.6.2 Možnosti využití ve strojírenství

Tuto metodu lze s výhodou použít v konstrukci a přípravě nejrůznějších strojírenských odvětví, kdy usnadňuje a hlavně urychluje návrh nového výrobku. (41, 42)

3.7 Laserové navařování

Laserový paprsek roztavuje daný materiál bod po bodu. Občasně je za pomoci proudu asistenčního plynu do tohoto roztaveného materiálu vpravován jemný prášek vhodného materiálu, velikost zrn tohoto prášku je v řadech mikrometrů, a ten se velmi rychle spojí s roztaveným materiálem. (43, 44)

3.7.1 Výhody

- malé ovlivnění oblasti návaru
- malá teplota v bodě návaru a ovlivněná oblast max 1,5 mm od místa návaru
- navařování těžko přístupných míst
- precizní návary, neznečištěné
- ekonomičnost

(43, 44)

3.7.2 Možnosti využití ve strojírenství

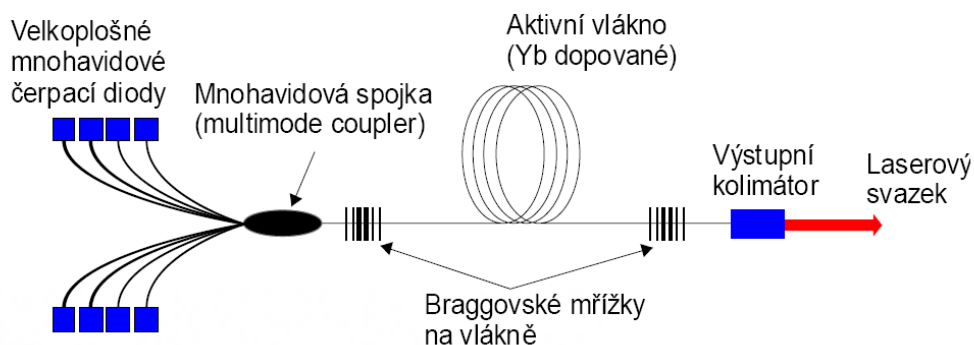
Tato technologie se nechá použít místo klasických způsobů navařování a to především v opravě nebo úpravě forem a navařování v těžko přístupných místech. Další aplikace je v opravě poškozených a zlomených nástrojů. (43, 44)

3.8 Vláknový laser – Fiber laser

Je nová progresivní technologie, která přichází na trh laserů, kdy je zdroj paprsku buzen úplně jiným způsobem, než jsme zvyklí.

3.8.1 Konstrukce

Vláknové lasery se svým principem člení mezi pevnolátkové lasery. Tyto lasery mohli vzniknout hlavně díky novým poznatkům v optice a oblasti budících laserových diod. Jejich princip je založen na tom, že vlákno vykonává stejnou funkci jako u pevnolátkového laseru vykonává tyčinka z aktivního materiálu. Vláknem je několik metrů dlouhé a uvnitř dopované prvky ze skupiny lanthanoidů (prvky vzácných zemin). Nejčastěji je pro dopování použito prvku ytterbia, erbia a praseodymu, popřípadě jejich kombinace. Toto dopované jádro je buzeno diodami, kde je záření z diod do vlákna přivedeno pomocí optického vlákna a mnohobodové spojky (multimode coupleru). Mnohobodová spojka slouží ke spojení navázání dvou a více vláken do sebe. Příkon vláknového laseru oproti klasickému pevnolátkovému laseru, čerpaného výbojkami, je asi jen 1 %, za zachování výstupním výkonů. V dopovaném vlákně vznikne vybuzený stav a později i stimulované emise. Pomocí Braggovské mřížky, která ve vlákně nahrazuje soustavu polopropustného a nepropustného zrcadla, je vyzařovaná a zesílená energie ve formě fotonů usměrněna a vyzářena do výstupního kolimátoru a dalšího optického vlákna, který vede laserový paprsek přímo do potřebného místa. Výstupní kolimátor slouží k tomu aby se divergentní paprsek usměrnil do rovnoběžného paprsku. (28, 29, 30, 31)

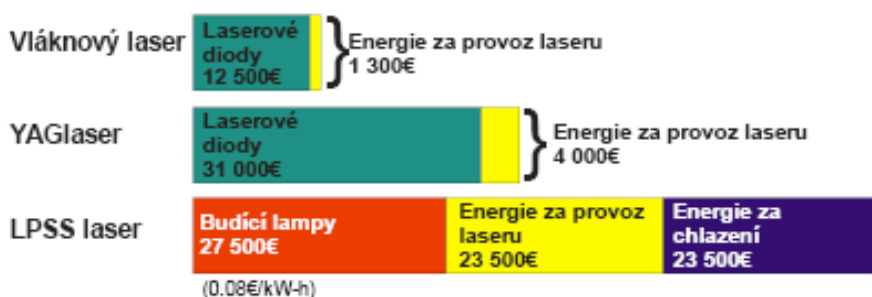


Obr. 3.3 Schéma vláknového laseru (19)

3.8.2 Výhody

- účinné chlazení, stačí chlazení vzduchem popřípadě chlazení vodou není tak náročné
- vynikající jakost paprsku, focusace do malého bodu, intenzita záření přes 10^9 W/cm^2
- účinnost až 40 %

- absence rezonátoru
 - menší energetická náročnost
 - dobrá integrace do výrobních linek, robotů
 - životnost budících diod až 100 000 hodin
 - dlouhá životnost malá náročnost na údržbu a provoz
- (28, 29, 30, 31)



Obr. 3.4 Porovnání nákladů vláknového laseru (19)

3.8.3 Možnosti využití ve strojírenství

Díky vlastnostem paprsku a jeho malé focusace je vhodné vláknové lasery ve strojírenství využívat pro oblasti značení, kde se už začínají pomalu prosazovat a další možné využití je v oblasti svařování a řezání materiálů. (28, 29, 30, 31)

3.9 Diodami čerpaný laser

Jedná se o pevnolátkový laser, nejčastěji Nd:YAG, který je místo buzení výbojkami buzen diodami. (38)

3.9.1 Výhody

- vyšší účinnost
- menší spotřeba el. energie
- delší trvanlivost diod, životnost cca 100 000 hodin
- menší rozměry
- menší provozní náklady

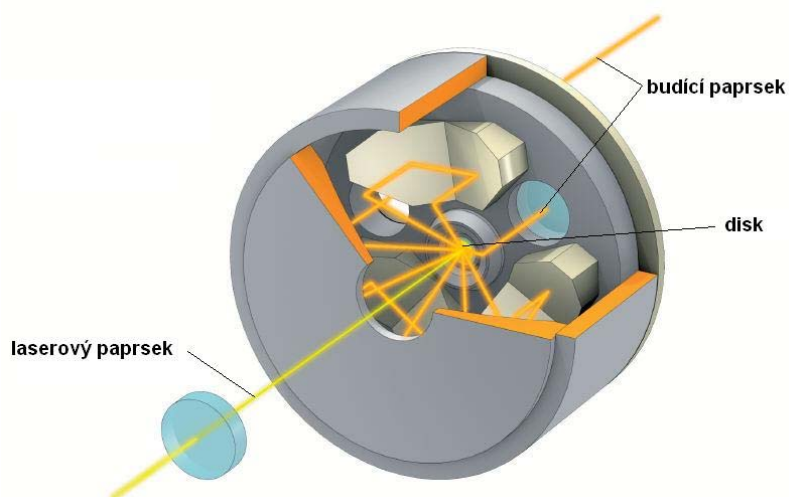
(38)

3.9.2 Možnosti využití ve strojírenství

Tyto lasery lze s výhodou použít u značení materiálů, svařování, mikroobrábění. (38)

3.10 Kotoučový laser (diskový laser)

Jedná se o pevnolátkový laser, kde je krystal ve formě tyčinky. Tento kotouč má průměr cca 0,12 m a může být vyroben z krystalu Yb:YAG. Laser je čerpán diodami a jeho princip je založen na vícenásobném průchodu záření přes reflektující vrstvy jedné strany kotouče a usměrnění vzniklého laserového paprsku do optické soustavy. Při těchto průchodech vzniká teplo, které je druhou stranou kotouče za pomoci chladiče odváděno. (38, 39)



Obr. 3.5 Schéma kotoučového laseru (47)

3.10.1 Výhody

- vyšší účinnost čerpání okolo 20 až 30 %
- jakost paprsku, která s rostoucím výkonem neklesá
- dobrá focusace paprsku
- menší rozměry

(38, 39)

3.10.2 Možnosti využití ve strojírenství

Tyto lasery lze s výhodou použít u značení materiálů, svařování, mikroobrábění a nahrazují tak klasické Nd:YAG lasery. (38, 39)

3.11 SLAB a INNOSLAB laser

SLAB

Jde o CO₂ laser, kde je použit rezonátor, který má v průřezu tvar lichoběžníku. A pojem slab (deska) označuje tvar výboje. (34, 39, 51)

INNOSSLAB

Jde o pevnolátkový laser, kde je použita desková forma krystalu (34, 39, 51)

3.11.1 Výhody

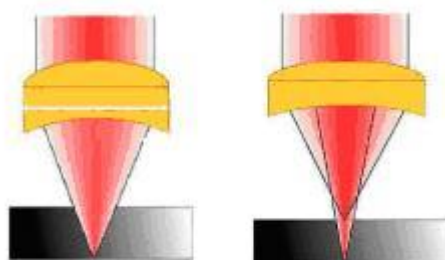
- vyšší výkonnost
- účinnější chlazení
- kompaktnější rozměry
- dobrá focusace
- obrábění silnějších materiálů
- menší tepelně ovlivněná oblast

3.11.2 Možnosti využití ve strojírenství

Tyto lasery díky jejich výhodám, jaké přinášejí lze s výhodou použít v mikroobrábění a vrtání. (38, 39, 51)

3.12 Bifocal čočka

Bifocal čočka nahrazuje klasické výstupní čočky tím, že má speciální dvouohniskovou optiku. Tato čočka rozdělí paprsek na dvě ohniska, kdy jedno je zaostřeno na povrch a druhé je směřováno do vnitřku materiálu. (14, 36, 37)



klasická čočka

Bifocal čočka

Obr. 3.6 Porovnání klasické a Bifocal čočky (37)

3.12.1 Výhody

- větší tloušťka a až o 60 % vyšší rychlost řezu, při zachování výkonnostních parametrů
- kvalitní řez bez otřepů
- optimální spotřeba asistenčních plynů při řezání

(14, 36, 37)

3.12.2 Možnosti využití ve strojírenství

Tuto čochku lze použít skoro ve všech konvečních řezacích a svařecích hlavách. (14, 36, 37)

3.13 3D řezání

Jde o řezání ve třech dimenzích, kdy například firma Trumpf nabízí v současné době již několik laserových center pro toto řezání postihující výšku materiálu až 1000 mm. (22)

3.13.1 Možnosti využití ve strojírenství

Toto řezání lze použít tam, kde by se jinak museli hledat jiné technologie obrábění a potřebuje se obrábět ve 3D. Například v automobilovém průmyslu apod.

3.14 Společná hlavice pro řezání a svařování

Jedná se o hlavici, se kterou se nechá jak řezat tak i svařovat. (34)

3.14.1 Možnosti využití ve strojírenství

Společná hlavice pro řezání a svařování se nechá použít všude tam, kde máme jen jedno centrum, na kterém potřebujeme zároveň svařovat i řezat materiály.

3.15 Laserové centrum se dvěma řezacími hlavicemi

Centrum, které má jeden zdroj paprsku obsluhuje dvě řezací hlavice. (22)

3.15.1 Možnosti využití ve strojírenství

Možnost použití ve strojírenství se nachází tam, kde je potřeba řezat větší počet výrobků.

4 PŘEDPOKLÁDANÝ ROZVOJ V HORIZONTU 5 LET

Laserové technologie za poslední deset až patnáct let zažívají tzv. boom. Vývoj těchto technologií naproti tomu ještě není ale zdaleka ukončen a neustále se hledají nové aplikace použití laseru, buzení paprsku a dopravu paprsku do místa řezu nebo svaru.

4.1 Odhad vývoje v globálním a ekonomickém měřítku

Nejsilnějšími hráči v oblasti laserů a laserových systému jsou USA, Japonsko a Německo. A v oblasti laserů určených pro průmyslové využití jasně vévodí Německo, kdy jeho podíl na trhu vůči ostatním zemím je asi 40 %. Německo má silnou podporu ve výzkumu těchto technologií od německého Bundesministerium für Bildung und Forschung (ministerstvo pro vzdělání a výzkum), které jen během let 1987 až 2004 poskytla na vývoj těchto technologií 770 mil. € a od roku 2002 do roku 2006 dalších 280 mil. €. Velký podíl na takovémto rozvoji laserových technologií má i provázanost veškerých výzkumných pracovišť s výrobními závody a také to, že z průmyslového odvětví se zpátky na výzkum laserových technologií vrací zhruba 11,1 % celkového obrátu oproti 3 % u ostatních odvětví. Lze tudíž předpokládat, že Německo si svou vedoucí roli udrží i po dobu následujících pěti let a déle.

V současné době se pohybuje mezinárodní růst prodeje laserových technologií okolo 14 až 15 %, tento vývoj bude s největší pravděpodobností i nadále pokračovat až do doby, kdy se trh těmito laserovými systémy nasytí. V evropských zemích a USA lze toto nasycení předpokládat v horizontu cca deseti až patnácti let a v ostatních zemích světa hlavně v asijských se toto nasycení nejbližších letech neočekává. Je to způsobeno hlavně díky masovosti vyráběných součástí klasickými technologiemi a přístupem k pracovní politice v těchto zemích, kdy zavádění laserových technologií do těchto technologií nebude tak rychlé jak tomu například bylo v Evropě nebo v USA. I když otázkou zůstává, co přinese společná spolupráce v oblasti laserových technologií mezi Čínou a Německem a Čínou a Ruskem, která se zatím odehrává na poli výzkumu.

Studie, kterou si nechala vypracovat společnost Optech Consulting předpokládá, že v rozmezích roků 2004 až 2010 se zvedne objem trhu z hodnoty 4,65 mld. € na 9,5 mld. € v roce 2010. Je tedy očekávané navýšení trhu během 6 let o hodnotu 4,85 mld. €. Pokud využijeme těchto dat k zhodnocení situace od dnešního dne do roku 2013, s tím, že očekávané tempo růstu se nemění. Měl by být objem trhu v roce 2008 7,88 mld. € a do roku 2013 by měl tedy narůst o 4,04 mld. € na hodnotu 11,92 mld. €.

Střízlivější odhad vývoje trhu na poli laserových technologií má německá instituce Industrieverband für optische, medizinische und mechatronische Technologien Spectaris, která předpovídá vývoj jen 10 %. (34)

4.2 Odhad rozvoje technologií v České republice a ve světě

Česká republika zachytila laserový boom a lze říct, že v současné době na poli laserových technologií nijak nezaostává.

Leadery v oblasti výroby a prodeje laserových center pro všechny možné aplikace zůstávají a i nadále lze předpokládat že zůstanou německá firma Trumpf a Rofin-Sinar, švýcarská firma Bystronic a americká firma Coherent. Existuje však ještě další řada menších výrobců, jak už ze zemí, kteří tuto technologii táhnou, nebo ze zemí téměř exotických, jako je třeba Turecko. Ovšem nechá se předpokládat, že svou vedoucí pozici si tyto firmy udrží a jejich pozice nebude výrazněji u budoucích pěti letech ohrožena. Otázkou však zůstává jak se bude v následujících letech vyvíjet výroba laserových značících zařízení, která nejsou tak konstrukčně náročná? V současné době již tyto přístroje vyrábí několik desítek výrobců a nechá se předpokládat, že tento trend se bude do dalších let zvyšovat až na možné stovky drobných výrobců, kteří si vyvinou malý značící přístroj a pod svou značkou ho budou prodávat.

Celkově lze říci, že se v horizontu pěti let předpokládá velký rozvoj svařovacích procesů pomocí laseru a jim podobné aplikace, a že řezání laserem a značení, které jsou v dnešní době nejvíce používané, si bude udržovat své tempo růstu.

Během několika dalších let se nechá předpokládat ustálení prodeje řezacích CO₂ laserů a do deseti let se nechá očekávat, že se trh v České republice ustálí. Rentabilita stroje je odhadována na pět let a po této době, se už vyplácí stroj díky zvýšeným nárokům na údržbu prodat a nahradit jej novým. Proto lze očekávat, že spousta firem začne tyto stroje obměňovat a vznikne zde další trh s prodejem použitých laserů pro firmy, které nepotřebují takovou jakost řezu jako má nové centrum, přesto chtějí používat výhody laseru.

Ve světě lze na poli svařovacích nebo pájecích laserů v nejbližších letech očekávat velký potenciál, kterému v současné době brání především cenová dostupnost těchto strojů. Tyto svařovací centra jsou oproti jiným technologiím svařování ještě řádově dražší a firmy si v dnešní době spíše koupí jinou technologii, která nedosahuje takových kvalit jako je laserové svařování, ale cena je řádově menší. V současné době je toto laserové svařování používáno v loděnicích na stavbu lodí, v leteckém průmyslu a průmyslu těžkých strojů, kdy je potřeba svařovat velké tloušťky materiálů a investice do tohoto zařízení v porovnání s konečnou cenou výrobku není taková. V tomto odvětví si laserové svařování našlo svou pevnou pozici a lze očekávat, že se v průběhu dalších pěti let na této situaci nic nezmění. Velký potenciál však do dalších let pro tuto technologii představuje automobilový průmysl, kdy je v současné době používají jen některé automobilky. Nechá se tudíž očekávat, že i ostatní automobilky budou díky nutnosti udržení konkurenceschopnosti v dalších pěti letech zavádět tyto laserové technologie svařování do svých výrobních závodů.

V otázce použitých laserů u svařování, bude zřejmě přihlédnuto k problematickému způsobu vedení paprsku u CO₂ laseru do místa svařovací

hlavice u robota, který je nutný při tomto svařování. Proto se nechá předpokládat, že se nadále budou spíše vyvíjet lasery pevnolátkové, které dokáží vést vzniklý paprsek v optickém vlákně. Než technologie CO₂, kde je rezonátor umístěn přímo v těle robota.

V České republice lze očekávat, že zavádění laserů do svařování nebude tak rychlé a v současné době je používá například automobilka Škoda Auto nebo Bosch Jihlava. Lze předpokládat, že tyto lasery bude v horizontu pěti let pořizovat i nově vznikající automobilka Hyundai.

Velký význam do dalších let přinášejí technologie hybridního svařování. Ačkoliv je tato technologie teprve na začátku svého vývoje už si našla v současné době uplatnění v různých firmách jak v České republice tak i ve světě. Z těchto poznatků se nechá předpokládat, že tato technologie si brzo najde své uplatnění i možnosti použití v další řadě firem, pro které bude i přes větší investice vhodnou technologií svařování.

Další velký rozvoj lze předpokládat u technologie remote svařování, kde díky svým výhodám rychlého a přesného svařování bude tato technologie hledat těžko konkurenci. A masivnějšímu rozšíření bude bránit už jen dostupnost této technologie, která se nechá předpokládat, že se během dalších pěti let zlepší.

U pájení se očekává, že díky jeho dobrým vlastnostem a levnějším nákladům, které jsou spojeny s jeho používáním, si do pěti let najde široké uplatnění hlavně v automobilkách a vytvoří silnou pozici v oblasti spojování materiálů.

Mikroobrábění je zajímavá aplikace, která skýtá nepřeborné možnosti využití. Nechá se předpokládat, že během následujících pěti let začne čím dál více pronikat do celého širokého spektra použití, které nabízí a do deseti let se stane masově rozšířenou technologií, k čemuž napomůže rozvoj nových typů laserů, jakými jsou kotoučové a vláknové lasery.

Technologie rapid prototypingu pomocí laseru si i nadále bude udržovat svou pozici s tím, že se nechá předpokládat, že vyráběný model bude ještě více přesnější, spáry kterých lze v současné době dosáhnout se díky použití ještě jemnějších prášků zmenší a celkově se model zjemní. Lze předpokládat, že spousta firem si uvědomí možnosti jaké jim tato technologie přináší hlavně v oblasti vývoje nových dílů a prototypů a pořídí si tuto technologii. Nebezpečí pro tuto technologii vytváření modelu pomocí laseru lze spatřit v nahrazení této technologie jinou technologií vyrábění modelu.

Výroba řezných kotoučů pomocí laseru si určitě také během následujících let zvýší své obraty a to díky přednostem jaké tato technologie skýtá a nahradí tak v průběhu deseti let klasický způsob výroby. To samé se nechá říci i o nanášení povrchů za pomoci laseru.

Laserovým navařováním se už v dnešní době zabývá několik firem jak v České republice, tak i v zahraničí. Na tuto technologii navařování a možnosti, které přináší, si zvykají a uvědomují si i potencionální zákazníci firem, kteří tuto technologii provozují. Proto lze předpokládat, že se zvýší podíl

firem nabízející tuto technologii i s možností navaření přímo u zákazníka současně s povědomím o této technologii, která se rychle šíří.

Celosvětově i v České republice je laserové značení hojně využíváno díky jeho přednostem a jen lze očekávat rostoucí zájem o laserové značení i do dalších let a rozvoj tohoto způsobu značení výrobců. S tím je spojený i zmiňovaný rozvoj firem, od kterých se nechá očekávat výroba těchto zařízení.

4.3 Odhad vývoje konstrukce laserů a jejich součástí

V průběhu pěti let se očekává masivní nástup vláknových laserů, u kterých se spatřuje největší potenciál do dalších let. V současné době už se v německém Bremer Institut für angewandte Strahltechnik, provádí výzkumy s americkým vláknovým laserem firmy IPG o výkonu 16 700W. Proto lze díky svým nesmírným přednostem v účinnosti a zdroji buzení předpokládat jejich masovější rozšíření hlavně pro oblast svařování a značení materiálů, popřípadě vytlačení klasických pevnolátkových laserů z trhu do deseti let. Výrobci těchto dopovaných jader pro vláknové lasery zůstávají pouze americká firma IPG a anglická firma Southampton Photonics SPI, kteří tyto vlákna prodávají ostatním světovým firmám. Lze předpokládat, že díky složitosti těchto vláken se v průběhu pěti let nic nezmění a tyto firmy zůstanou jedinými dodavateli těchto dopovaných jader světovým výrobcům. (34)

Velký význam a potenciál představují buzení excitace pomocí diod. A to jak použití u klasických pevnolátkových laserů, tak použití ve spojení s vláknovými lasery. Nechá se předpokládat, že tento způsob buzení v průběhu dalších pěti let úplně vytlačí buzení současnými výbojkami pevnolátkového laseru.

Kotoučový laser má řadu předností oproti pevnolátkovému laseru a dosahuje se s ním i daleko vyšší účinnosti, přesto se nechá předpokládat, že jeho výhody budou brzy dohnány vláknovými lasery a kotoučový laser svede během následujících let souboj s vláknovými lasery. A bude zajímavé sledovat, kdo tento souboj vyhraje.

Bifocal čočka se jeví jako dobrý krok pro optiku laserových center a nechá se předpokládat, že se v průběhu dalších pěti let stane cenově dostupnější a postupně nahradí klasické jedno ohniskové čočky.

3D řezání představuje krok dopředu, ovšem lze předpokládat, že firmy v průběhu dalších pěti let nebudou tuto technologii moc nakupovat s ohledem, na současný výrobní program firem, které si laser pořizují a rozdíl ceny mezi 2D řezacím centrem a 3D řezacím centrem. Jejich větší rozvoj lze předpokládat, do pěti let kdy se nechá očekávat nasycení trhu lasery pro 2D řezání a firmy, pracující pro ostatní firmy v kooperaci na tzv. Job shopech, budou chtít nabídnout něco navíc oproti konkurenci.

Společná hlavice pro řezání a svařování má velký potenciál, protože odpadá pořizování obou center. Ovšem otázkou do dalších pěti let zůstává jak tato hlavice bude dostupná a jestli bude plnit takové jakostní požadavky jaké jsou požadovány u řezacích laserů a u svařovacích. Nechá se však

předpokládat, že do deseti let se už bude jednat o zcela běžnou součást laserových center.

Dvě řezací hlavice na jedno laserové centrum a tudíž i na jeden zdroj paprsku je vynikající nápad, protože firmě ušetří spoustu místa a starostí s druhým centrem. Toto centrum je vhodné pro masovější počty kusů. Nechá se předpokládat, že i prodej těchto center se v průběhu příštích pěti let zvýší. Ovšem je zde jisté nebezpečí, jak na tom bude situace v Asii a hlavně Číně, a s tím spojená otázka, jestli se firmě vůbec vyplatí dané zakázky vyrábět na 2 hlavovém centru a nebude pro ní levnější si nechat výrobky vyrábět klasickým způsobem v těchto zemích, kde jsou náklady na výrobu značně nižší.

Celkově se do dalších let nechá předpokládat, že výrobci laserových center se budou snažit vyrobit účinnější stroje, které nebudou potřebovat tolik údržby. Tyto stroje budou ekonomičtější a přes tyto všechny vlastnosti se zvětší kvalita a jakost jejich výstupního laserového paprsku. Snahou každého výrobce je a nadále se tento trend bude jen potvrzovat, aby se tyto centra stávala čím dál více dostupná pro zákazníky. S tím je spojený široký výrobní program výroby těchto strojů a poradenská, tak aby si každý zákazník mohl pořídit centrum odpovídající jeho konkrétním potřebám.

Mezi dalšími cíly výrobců do dalších let lze spatřovat, ve zlepšení vedení paprsku do místa řezání, popřípadě svařování a tudíž větší přesnost. Nechá se předpokládat, že výrobci laserů budou chtít přispět k odstranění podílu manuální práce u řezání laserem a s tím spojenou logistiku materiálu okolo laserů a tím zvýšit podíl automatizace. Určitě během dalších pěti let se budou výrobci snažit o zvětšení intervalů údržby a tudíž zmenšení prostojů stroje, kdy stroj stojí jen kvůli údržbě.

Dalším z cílů, které se nechají očekávat od výrobců těchto laserových systémů v horizontu pěti let, je snaha neustále rozšiřovat povědomí o možnostech laserových technologií jak mezi studenty strojních škol a fakult, tak i mezi stávajícími technologi a konstruktéry. Kdy konstruktéři a technologové si potencionál těchto technologií začínají uvědomovat a čím dál více požadují provádění určitých operací právě pomocí laseru. Lze předpokládat, že se tento trend bude i do dalších let neustále zvyšovat.

5 EKONOMICKÁ NÁROČNOST PROVOZU LASEROVÉ TECHNOLOGIE

Laserové technologie patří v současné době k poměrně velmi nákladným technologiím, i když je snaha všech výrobců, aby se tato technologie stala dostupnější širšímu spektru uživatelů.

V současné době je největší podíl používání laseru pro řezání, proto se zde objasní ekonomická náročnost laserové technologie řezání a to za pomoci CO₂ plynového laseru. Další velký podíl využití laseru je ke značení a gravírování, který tato technologie není tak nákladná jako technologie řezání za pomoci laseru.

5.1 Pořízení laserového CO₂ centra k řezání materiálu.

Než každá firma začne uvažovat o pořízení této technologie k řezání, měla by si uvědomit, že ačkoliv tato technologie nabízí nesmírnou řadu výhod oproti jiným technologiím, je v současné době ještě poměrně nákladná. Její nákladnost spočívá jak v pořízení centra, tak i na následné zabezpečení dalšího chodu. Proto je nutné, aby si firma dobře před touto investicí zpracovala svůj podnikatelský záměr.

5.1.1 Zhodnocení výrobního programu

Pokud firma zváží, že investice do laserové technologie je pro ni tou správnou volbou měla by se důsledně zamyslet, co pomocí této technologie hodlá vyrábět. Především se jedná o to jaké materiály a jaké tloušťky těchto materiálů bude potřeba řezat? Jelikož většina firem, které si lasery pořizuje vyrábí větší či menší procento své výroby pro kooperaci, není tato otázka tak jednoduchá. V současné době je na trhu několik desítek laserových center od nejrůznějších výrobců, které umožňují firmám pořídit si stroj přesně podle jejich potřeb.

5.1.2 Prostory pro umístění laserového centra

Další věcí, na kterou by se firma měla zamyslet, je otázka prostor, kde bude takové centrum umístěno. Laserové centrum musí být umístěno na rovné celistvé betonové desce, která má minimální tloušťku 0,2 m. Prostorové požadavky na budovu či halu se odvíjí od konkrétních rozměrů centra, je však nutné počítat s tím že průměrné rozměry centra se pohybují v rozmezí 4 až 6 m v jedné ose a 10 až 17 m v druhé ose. Zároveň je nutné uvažovat i s dopravou materiálu k a od laserového centra a s tím spojené prostory pro manipulaci s materiálem. Tato doprava je závislá od používaného materiálu a jeho hmotnosti, nejčastěji se však realizuje pomocí různých liftmasterů, mostového jeřábu, otočného jeřábu apod. Jestliže bude stroj v provozu dvě a více směn musí se počítat i s tím, že vzniklé výrobky si nebude schopen zákazník okamžitě odvést a bude je nutné skladovat, stejně tak jako bude nutné skladovat i materiál, který teprve bude zpracováván. V prostorech kde

bude laserové centrum umístěno nesmí v případě odstávky klesnout teplota v hale pod 10 °C. Je třeba i připomenout, že účinnost laserového centra je jen 10 % a že zbylých 90% příkonu energie bude ohřívat okolní prostředí. Pokud se příkon laserového centra pohybuje v rozmezí 30 až 50 kW a je nutné počítat s tím, že prostor kde bude tento laser umístěn, bude za chodu vytápěn i tímto centrem a zároveň zamořován vznikajícími plyny při řezání. Proto je nutné počítat i s odvětráváním těchto prostor. Pokud by firma neměla vlastní prostory a nechtěla si tyto prostory pronajímat, musí počítat s tím, že minimální náklady na postavení haly, kde se nechá takovéto centrum umístit se budou pohybovat okolo 6 500 000 Kč a výše.

5.1.3 Nákup laserového centra

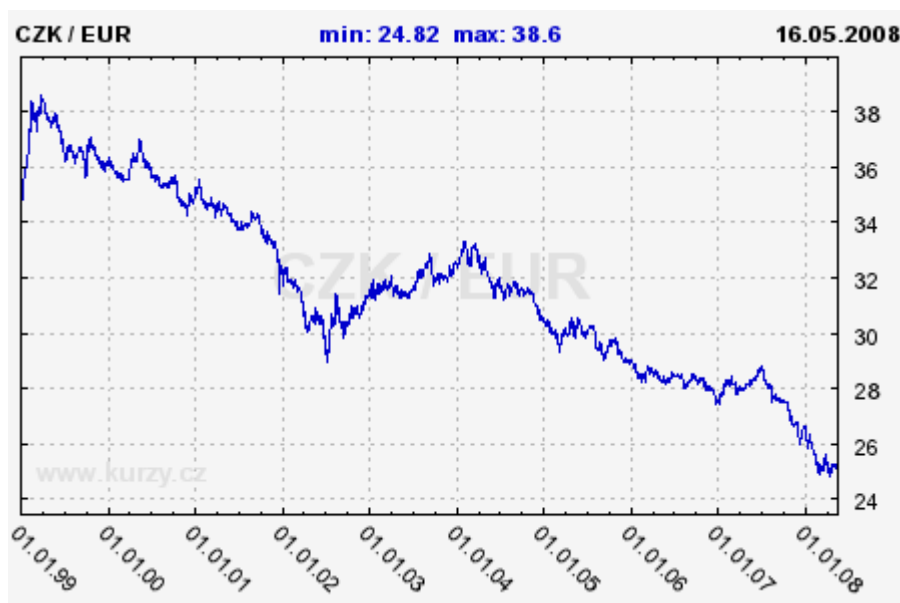
V současné době je na trhu několik výrobců, přesto díky plynulosti pozdější výroby je doporučeno firmě nešetřit a obrátit se na renomovaného výrobce. Tento výrobce dodá totiž firmě stroj, který nebude mít tak velké náklady na údržbu a prostoje při seřizování optiky. A v případě jakékoliv poruchy je schopen zajistit servisního technika spolu s náhradními díly během krátkého časového období, kdy firmě nevznikají tak velké ztráty zastavením výroby.

Tyto laserové centra jsou v současné době vyráběny ve formě modulů, kdy k určitému pracovnímu stolu si můžeme vybrat z více variant zdrojů. To umožňuje výrobcí poskytnout zákazníkovi centrum přesně pro jeho potřeby.

Jelikož pocházejí výrobci těchto strojů převážně z Německa, Švýcarska, USA, apod. je nejčastěji cena takového laserového centra uváděna v €.

Před deseti lety stálo běžné laserové centrum cca 800 000 DEM, což při kurzu, který byl v roce 1998 průměrně okolo 18 Kč za 1 DEM, dělá hodnotu laserového centra 14 400 000 Kč.

V současné době se nechá laserové centrum pořídit od ceny 200 000 € až po 1 000 000 €. Nejčastěji se však cena laserového centra pohybuje okolo 500 000 €. Při přepočtu kurzu € a Kč, který k dnešnímu dnu činí zhruba 25 Kč/€, dostáváme cenu laserového centra okolo 12 500 000 Kč. Z tohoto porovnání je vidět, že tato technologie se stala v průběhu deseti let dostupnější a zlevnila téměř o 14 %. Tento trend se nechá očekávat díky vývoji kurzu a rozvoji laserové technologie i do dalších let. Tyto centra se i nadále budou stávat dostupnějšími pro širší strojírenskou veřejnost a to i díky dotacím z Evropské unie a možnosti leasingu, kterým se v současné době zabývá již značná řada společností oproti době před deseti lety. (22, 44)



Obr. 3.6 Vývoj kurzu Koruny vůči Euru (44)

Po pořízení centra si bude firma toto centrum odpisovat podle druhé odpisové třídy, kde se majetek odpisuje po dobu pěti let.

5.1.4 Náklady spojené s provozováním laserové technologie

Doprava

Jedním z důležitých aspektů při pořizování laserových center je fakt, že váha tabule plechu a jeho rozměry bývají značně velké. Váha tabule se může pohybovat i ve stovkách kilogramů a tu už obsluha laserového centra na pracovní stůl rukou nepoloží. Proto bude nutné zamyslet se nad způsobem dopravy materiálu k laserovému centru a dopravy tabule plechu na obráběcí stůl laserového centra.

Nejčastěji je tak realizováno pomocí:

- liftmasteru, kdy se cena pohybuje okolo 150 000 €
- otočného jeřábu, kdy se cena pohybuje od 150 000 Kč
- mostového jeřábu, kdy se cena pohybuje od 700 000 Kč

El. energie

Další výraznou položkou, která bude promlouvat do nákladů firmy jsou náklady spojením s elektrickou energií. Jelikož laserové centrum má účinnost jen 10 %, pohybuje se příkon elektrické energie v rozmezí 30 až 50 kW, kdy 70 % tohoto příkonu energie je spotřebováno pro potřeby na chlazení. Pokud firma provozuje stroj na dvě a více směn dostáváme se ke spotřebě el.

energie, která se nechá považovat už za velkoodběratelskou a dodavatelé el. energie si přímo s firmou sjednají konkrétní částku za kWh.

Laserové plyny

Plyny dělíme v zásadě na:

- rezonátorové – slouží k vytvoření excitovaného stavu (nejčastěji CO₂, He, N₂)
- asistenční – napomáhají řezání, svařování, atd. (nejčastěji O₂, N₂)

U všech těchto plynů je požadována vysoká čistota 5.0 oproti běžné čistotě plynů 2.5. Je to způsobeno tím, že lasery jsou náchylné na vlhkost, cizí částice apod., které zabraňují generování vlastního laserového paprsku a zároveň poškozují rezonátor u rezonátorových plynů a způsobují zhoršení řezání popř. svařování u asistenčních plynů.

Plyny se můžou uchovávat v:

- svazek 12 lahví
- POS zásobník
- velký stacionárním zásobník

Spotřeba plynů je závislá od počtu používaných center, a od materiálů a jejich tloušťky, která se na nich řeže, proto nelze jednoznačně říci který zásobník plynu se firmě vyplatí pořídit.

Nejdostupnější a nejlevnější je svazek 12 lahví ovšem jeho doplňování je také nejdražší. Firma si stav plynu v zásobníku neustále musí hlídat a objednávat nové lahve, což zpomaluje výrobu a hrozí zde riziko, že laserové centrum bude stát díky nedostatku plynu.

Další z možností zásobování plynem je POS zásobník, který už má vyšší kapacitu a odpadá zde potřeba neustále hlídat spotřebu plynu. Zde už je plyn uchováván ve kapalně formě a postupně při spotřebě vytváří plyn.

Pro velké odběry plynů slouží velké stacionární zásobníky. Tyto zásobníky představují velké náklady na realizaci, kdy je potřeba k postavení takového zásobníku i stavebního povolení. V zásobníku je opět plyn uchováván ve zkapalněné formě. A díky telemetrii, která se nechá na tento zásobník napojit nehrozí, že by v zásobníku plyn došel. Tato telemetrie je totiž napojena přes počítač do centrály prodejce plynu, který přesně vidí stav plynu v zásobníku a při překročení nízké hodnoty okamžitě vysílá cisternu na doplnění kapaliny. Firmě tím odpadá starost o objednávky plynů a prakticky se nemůže stát, že by firmě stála výroba díky nedostatku plynu. Cena takovéto telemetrie se pohybuje okolo 200 000 Kč.

Ceny všech plynů nejsou pevně stanoveny a jsou sjednávány smluvně. Například orientační cena O₂ se pohybuje okolo:

- 35Kč/ litr pro svazek 12 lahví
- 11Kč/litr pro POS zásobník
- 3Kč/litr pro velký stacionární zásobník

Je vidět, že pokud by se firma rozhodla investovat do velkého stacionárního zásobníku ušetřila by na doplňování kyslíku cca 90 % nákladů na litr plynu. Avšak není to tak jednoduché a kapalina se ze zásobníku plynu neustále odpařuje, aniž by muselo být laserové centrum v provozu. Proto zde hrozí riziko, že pokud by firma nedosahovala takových spotřeb plynů, nakoupený plyn by ji unikl do okolní atmosféry.

S otázkou plynu je také spojená doprava těchto plynů do lahví. Kdy je nutné zajistit vhodný rozvod, který bude splňovat to že při cestě plynu k laserovému centru se tento plyn ničím nekontaminuje. Cena takového špičkového rozvodu se pohybuje okolo 80 000 €. (15, 45)

Obsluha

Jelikož se jedná o laserové zařízení, které spadá v normální režimu do první laserové třídy nebezpečnosti a v servisním režimu do čtvrté laserové třídy nebezpečnosti a zároveň je ovládání plně řízeno CNC systémem. Vyžaduje si také větší nároky na obsluhu a její pro školení.

Ceny školení firmou Trumf pro obsluhu laseru: (46)

- 23 900 Kč/ pro 1 osobu v trvání 4,5 dne
- 33 900 Kč/ pro 2 osoby v trvání 4,5 dne
- 39 900 Kč/ pro 3 osoby v trvání 4,5 dne

Údržba

Jelikož je tato technologie náchylná na čistotu plynů, optické soustavy apod. Je důležité dodržovat plán údržby centra, který přesně říká v jakém časovém sledu se musí co kontrolovat a kdy má být pozván odborný servis na provedení celkové kontroly centra. Tato údržba se může zdát zbytečná s tím, že zabírá firmě čas, kdy by centrum mohlo být v provozu a vydělávat, ovšem při této technologii by se údržba neměla podceňovat, protože ceny náhradních dílů (čočky, zrcátka, řezací hlavy, apod.) se pohybují v řádu statisíc korun a zanedbání údržby by se firmě z ekonomického hlediska nemuselo přinést zisk.

Průměrné náklady na provoz

Je obtížné říct jaké bude mít firma přesně náklady na provoz laserového centra. Avšak odhaduje se, že tyto náklady jsou v rozmezí 100 000 až 200 000 Kč/rok. Této částce odpovídá i částka 35 € za hodinu, kterou odhaduje na náklady firma Trumpf. Tyto náklady jsou však značně ovlivněny počtem směn a materiály, které se na těchto centrech řeží.

5.1.5 Cenová politika firmy**Ekonomická životnost**

Ekonomická životnost je odhadována na 30 000 až 35 000 hodin což je cca pět let. Po této době už sou zvýšené nároky na údržbu laserového centra. Aby se stroj firmě vyplatilo pořídit a do pěti let si na sebe vydělal, je nutné aby byl v provozu minimálně jeden a půl směny během pracovního týdne.

Cena hodiny práce

Průměrná cena hodiny práce na laserovém centru se v České republice pohybuje se pohybuje okolo 2500 Kč/hod. A lze předpokládat, že by se tato cena mohla v horizontu pěti let mírně snížit díky novým technologiím, které se rozvíjejí a vyšší účinnosti, kterou přináší.

ZÁVĚR

Laserová technologie patří v současné době k nejprogresivnějším technologiím a v oblasti použití ve strojírenství zažívá za posledních dvacet let neuvěřitelného rozmachu. Tato technologie se začíná dostávat do podvědomí technologů a konstruktérů, kteří už při návrhu výrobku s využitím laserové technologie počítají.

Současné době je tato technologie v oblasti strojírenství nejvíce rozšířena pro řezání materiálu, značení a gravírování materiálu.

Spousta firem již poznala výhody laserového řezání a laserové řezací centrum si už pořídila a nebo si nechá své výrobky vyrábět na těchto centrech v kooperaci. Tyto firmy většinou pro řezání používají plynový CO₂ laser, který se svou konstrukcí hodí více pro řezání materiálů. Účinnost těchto laserů se v současné době pohybuje okolo 10 % a dosahují středního výkonu až 50 kW. Další hodně rozšířenou aplikací použití laserové technologie ve strojírenství je gravírování a značení materiálu. Pro tyto účely se používají jak pevnolátkové lasery Nd:YAG, kde se účinnost pohybuje nejvýše okolo 6 % a dosahují středního výkonu 6 kW, tak i plynové CO₂ lasery. Od těchto technologií se nechá očekávat, že své tempo růstu do dalších pěti let udrží na stejné hladině.

Zajímavé však do dalších let bude pozorovat vývoj laserového svařování a jeho aplikací. V současné době, díky vysokým pořizovacím nákladům zařízení, jsou používány výhradně k velkosériové výrobě například v automobilkách.

Nechá se ovšem předpokládat, že díky novým poznatkům v buzení laserového paprsku a konstrukci laserů, jakými jsou například vláknový laser, který dosahuje účinnosti až 40 % a kotoučový laser s účinností až 30 %, se tato technologie do dalších let zlevní a stane se dostupnější. To zapříčiní další rozvoj a rozšíření laserových technologií, jak v oblasti svařování tak i v oblasti nových aplikací použití laseru.

Ačkoliv má laserová technologie řezání a svařování řadu nesmírných výhod a účinnost laserů se neustále zvyšuje, pořád je tato technologie finančně hodně náročná jak nařízení, tak i na následné náklady spojené s jeho provozováním. Jiná situace trochu platí v oblasti laserového gravírování, kdy tato technologie je srovnatelně dostupná s ostatními technologiemi gravírování a nabízí oproti nim řadu výhod, jakými je například nesmazatelný popis a rychlost.

Napříč tomu je laserová technologie ve strojírenství už nepostradatelná a některé výrobky by bez ni nešlo ani vyrobit, to si firmy dobře uvědomují a proto si i tuto technologii pořizují. Tento trend se očekává i do dalších let.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BARCAL, J. Nekonvenční metody obrábění. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 1989. 122 s. Číslo publikace: 6523.
2. SLANÝ, M. Obrábění vodním paprskem: Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2006. 66 s.
3. Laser. Objevy a vynálezy [online]. neznámé [cit. 2008-04-02]. Dostupný z WWW: < <http://www.quido.cz/objevy/laser.htm>>.
4. Zpracování materiálu pomocí laseru. Maturita.cz : Referáty [online]. neznámé [cit. 2008-04-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.maturita.cz/referaty/referat.asp?id=1358&pageTitle=Zpracovn%20materil%20pomoc%20laseru>>.
5. KUSALA, Jaroslav. Lasery kolem nás [online]. ČEZ a.s., 2004 , [cit. 2008-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/laser.htm>>.
6. VUT v Brně, studijní podklady
7. MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne technologie: Advanced methods of materiál removal. Košice: Vienaľa, 2000. 275 s. ISBN 80-7099-430-4.
8. MORÁVEK, R. Nekonvenční metody obrábění. 2. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita, Fakulta technologie obrábění, 1999. 102 s. ISBN 80-7082-518-9.
9. VOBOŘILOVÁ, Pavla. Dělení laserů. Princip laseru [online]. 2002 [cit. 2008-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://slon.fsv.cvut.cz/~pavla/laser/node4.html>>.
10. ŘASA, Jaroslav, KEREČANINOVÁ, Zuzana. Nekonvenční metody obrábění - 4. díl. MM Průmyslové spektrum : Inovace / Nekonvenční technologie [online]. 2008, roč. 2008, č. 3 [cit. 2008-04-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil>>.
11. Lasery: Kvantové generátory světla. Čtenářský deník.cz : Referáty [online]. neznámé [cit. 2008-04-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.ctenarskydenik.cz/referaty/referat.asp?id=3060&pageTitle=Lasery>>.
12. Lasery [online]. neznámé [cit. 2008-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://tc-pipa.wz.cz/lasery.html>>.
13. ŠULC, Jan. Průmyslové aplikace laserových systémů. PLS Laser Systems spol. s r.o. [online]. c2004 [cit. 2008-04-20], s. 8. Dostupný z WWW: <<http://www.plslaser.cz/pdf/prumysl.pdf>>.
14. ROUBÍČEK, Martin. Řezání CO2 laserem - Optický systém Bifocal. Konstrukce : Svařování a dělení materiálu [online]. 2005, roč. 2005, č. 5 [cit. 2008-04-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.konstrukce.cz/index.php?clanek=484>>.
15. LINDE GAS A.S. Laserové technologie [online]. c2007 [cit. 2008-04-28]. Dostupný z WWW: <http://www.linde-gas.cz/international/web/lg/cz/like35lgcz.nsf/docbyalias/nav_ind_las>
16. KAPSA, Vlastimil. Použití laseru při spojování autokarosérií. [s.l.], c2003. 70 s. Diplomová práce. Dostupný z WWW: <<http://dp.kapsa.info/>>.
17. KUBÍČEK, Jaroslav, MRŇA, Libor. Technické aspekty svařování laserem. Svařák.cz [online]. neznámé [cit. 2008-04-28], s. 11. Dostupný z WWW:

- <http://www.svarak.cz/f/svarak/p/PDF%20%C4%8Dl%C3%A1nky/PDF_%C4%8Cesky/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD%20laserem.pdf>.
18. LINTECH S.R.O. Lintech : Zakázkové služby [online]. c2006 [cit. 2008-04-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.lintech.cz/prumyslove-znacen/gravirovani/zakazkove-sluzby/8/>>.
 19. LAO PRŮMYSLOVÉ SYSTÉMY S.R.O.. Průmyslové značení [online]. c2002 [cit. 2008-04-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.lao.cz/common/home.php>>.
 20. Gravírování – značící a popisovací technika. Neznámý [online]. neznámé [cit. 2008-04-17], s. 1. Dostupný z WWW: <http://jasovi.ath.cx/G4A/Technologie_odborna/06_reklama/Grav%EDrov%E1n%ED.doc>.
 21. KOLAŘÍK, Ladislav. Laserové značení pomocí inteligentních laserových systémů. Povrchová úprava [online]. 2004, roč. 2004, č. 12 [cit. 2008-04-20], s. 8. Dostupný z WWW: <<http://www.povrchovauprava.cz/uploads/assets/casopisy/pu-2004-12.pdf>>.
 22. Firemní materiály firmy TRUMPF Praha, spol. s r.o.
 23. IVECO CZECH REPUBLIC, A. S. . O firmě : Historie [online]. c2007 [cit. 2008-04-28]. Dostupný z WWW: <http://www.karosa.cz/main.php?show=history_brief&language=czech>.
 24. ABNER A.S.. O firmě [online]. neznámé [cit. 2008-05-01]. Dostupný z WWW: <http://www.abner.cz/o_firme.php>.
 25. S & Ř, CH KOVO s.r.o. Firemní materiály firmy.
 26. SW-MOTECH s.r.o. Firemní materiály firmy
 27. Technologické centrum a.s. Firemní materiály firmy
 28. NOVÁK, Miroslav. Vláknové lasery v průmyslovém značení. MM Průmyslové spektrum : Výroba / Technologie [online]. 2006, roč. 2006, č. 4 [cit. 2008-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vlaknove-lasery-v-prumyslovem-znacen>>.
 29. Organická elektronika, vláknové lasery . Technický týdeník [online]. neznámé [cit. 2008-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.techtydenik.cz/detail.php?action=show&id=3584&mark>>.
 30. PETERKA, Pavel. Vláknové lasery - jasné světlo ze skleněných nitek. Sborník Otevřená věda : praktický kurz [online]. neznámé [cit. 2008-05-03], s. 13. Dostupný z WWW: <<http://www.ufe.cz/~peterka/novehrady/vlaknovelasery.pdf>>.
 31. Firemní materiály firmy LAO Průmyslové systémy s.r.o.
 32. KŘIVDA, Bohumil. Hybridní svařovací postup laser - MIG při výrobě hliníkové karosérie vozu Audi A8 : Synergické efekty nové technologie. Svařování - spojování - dělení [online]. neznámé [cit. 2008-05-03], s. 3. Dostupný z WWW: <http://www.fronius.ch/worldwide/ceska.republika/synergie_effekte.pdf>.
 33. CARL CLOOS SCHWEIßTECHNIK GMBH . Svařovací metody : Laserový hybridní proces [online]. c2005 [cit. 2008-05-04]. Dostupný z WWW: <http://www.cloos.de/cesky/schweissverfahren/MSG_Laser_Hybrid_Prozess_98.php>.

34. ŠMÍD, Jiří. Vývoj laserů a laserových technologií. MM Průmyslové spektrum : Inovace / Technologie [online]. 2006, roč. 2006, č. 5 [cit. 2008-05-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vyvoj-laseru-a-laserovych-technologii>>.
35. Rychlejší a ekologičtější instalátorské práce s diamantovými řezacími kotouči Bosch. Technika a trh [online]. 2006 [cit. 2008-05-05]. Dostupný z WWW: <http://technika.ccb.cz/index.php?sec=rubrika&id_rubrika=50&start=5>.
36. KONSTRUKCE.CZ. Další průnik digitalizace do svařování. Konstrukce : Svařování a dělení materiálu [online]. 2005, roč. 2005, č. 6 [cit. 2008-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.konstrukce.cz/clanek/530-dalsi-prunik-digitalizace-do-svarovani/>>.
37. ROUBÍČEK, Martin. Vývoj laserů a jejich aplikační trendy ve strojírenství. Technik.ihned.cz [online]. 2006 [cit. 2008-05-06]. Dostupný z WWW: <http://ihned.cz/c4-10041240-19279850-000000_d-vyvoj-laseru-a-jejich-aplikacni-trendy-ve-strojirenstvi>.
38. ŘASA, Jaroslav, JINDROVÁ, Radka. Lasery, laserové technologie a stroje s laserem. MM Průmyslové spektrum : Trendy / Nekonenční technologie [online]. 2007, roč. 2006, č. 7 [cit. 2008-04-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-laserove-technologie-a-stroje-s-laserem>>.
39. ŠMÍD, Jiří. Laser 2003 - 3x průlom do dosavadních technologií. MM Průmyslové spektrum : Výroba / Obrábění [online]. 2003, roč. 2003, č. 11 [cit. 2008-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/laser-2003-3x-prulom-do-dosavadnich-technologii>>.
40. ŠMÍD, Jiří. Laser a roboty. MM Průmyslové spektrum : Trendy / Spojování [online]. 2005, roč. 2005, č. 10 [cit. 2008-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/laser-a-roboty>>.
41. SYSCAE S.R.O. . Selective Laser Sintering [online]. c2004 [cit. 2008-05-04]. Dostupný z WWW: <http://www.syscae.cz/web/page_112.php>.
42. NAVRÁTIL, Robert. Selective Laser Sintering [online]. 2000 [cit. 2008-05-19]. Dostupný z WWW: <<http://robo.hyperlink.cz/rapid/main06.html>>.
43. Pájení laserem - technologie budoucnosti. Technický týdeník [online]. 2003 [cit. 2008-05-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.czechdesign.cz/index.php?status=c&clanek=40&lang=1>>.
44. KURZY.CZ, SPOL. S R.O., ALIAWEB, SPOL. S R.O.. Kurzy.cz : Kurzy měn - grafy kurzů [online]. 2008 [cit. 2008-05-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.kurzy.cz/kurzy-men/grafy/nr/CZK-EUR/od-4.1.1993/>>.
45. AIR PRODUCTS spol. s r.o. Firemní materiály firmy
46. TRUMPF PRAHA, SPOL. S R. O.. Servis TRUMPF [online]. c2007 [cit. 2008-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://cz.trumpf.com/>>.
47. TRUMPF GMBH. TRUMPF Bild-Datenbank [online]. c2004 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <<https://www.mytrumpf.com/pictures/>>.
48. HOT POTATO. Denní a noční vidění síťových kamer [online]. neznámé [cit. 2008-05-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.netcam.cz/encyklopedie-ip-zabezpeceni/denni-a-nocni-videni.php>>.
49. OPTARIUS. High power CO2 laser [online]. neznámé [cit. 2008-05-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.optarius.co.uk/di-co2mir.pdf>>.

50. SVERA-TRADE . LASERY - Optika, spotřební materiál, čočky, trysky [online]. c2008 [cit. 2008-05-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.svera-trade.cz/cz/product.php?id=130&ldata=cz>>.
51. MINAŘÍK, Václav. Technologické lasery : Základní druhy technologických laserů pro řezání a svařování.. *Česká svářecká společnost ANB* [online]. 2007 [cit. 2008-05-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=228>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
E_0	J	kvantová energie na základní energetické hladině
E_1	J	kvantová energie na vyšší energetické hladině
f	Hz	frekvence
h	J.s	Planckova konstanta
cw		kontinuální provoz laseru
pw		pulsní provoz laseru
Qs		impulsní provoz laseru
°C		stupeň celsia
As		arsen
CO ₂		oxid uhličitý
Ga		gallium
Ge		germanium
He		helium
N ₂		dusík
Nd		neodym
O ₂		kyslík
Se		selen
YAG		yttrium aluminium granátu
Yb		ytterbium
Zn		zinek
Kč/CZK		česká koruna
€/EUR		euro
DEM		německá marka
CAD		počítačové podporované navrhování
CAM		počítačem podporovaná výroba
CCD		zařízení s vázanými náboji.
CIM		počítačové řízení výroby
CNC		počítačové řízení obrábění
LMT		výroba diamantového kotouče pomocí laseru
LPSS		výbojkami buzený pevnolátkový laser
MIG		svařování tavnou elektrodou v inertním plynu
MAG		svařování tavnou elektrodou v aktivním plynu
MSG		svařování v ochranných plynech
PC		osobní počítač