

L A S E R V O B R Á B A N Í

(spracovaný nečistopis, nekorigovaný, neopravený)

**Prednáška z predmetu Nekonvenčné technológie
V. roč, KVS STU Bratislava**

**Spracoval : doc. Ing. V. Geleta, Ph.D.
prof. Ing. J. Zongor, Ph.D.**

LASER V OBRÁBANÍ

Bežne používané materiály vo výrobnom procese možno zahrnúť do štyroch kategórií:

- kovy
- keramika
- polyméry
- kompozity.

Výber procesu výroby je mnohofaktorový, dva z nich sú zvlášť významné:

- **veľkosť dávky**

malé množstvá vyžadujú istú pružnosť výrobného procesu – obrábanie;
veľké množstvá možno zvládnuť taktiež obrábaním ale aj tvárnením.

- **fyzikálne vlastnosti materiálu**

kovy majú relatívne vysoký bod tavenia, preto sú spravidla spracovávané v pevnom stave a to procesmi obrábania a tvárnenia;

polyméry a kompozity na báze epoxidov majú oveľa nižší bod tavenia ako kovy a dovoľujú často spracovanie v tekutom stave;

keramika je spravidla krehká a v tuhom stave sa konvenčnými metódami obrába zle; preto sa spravidla tvárnením vytvorí základný obrys a následne sa obrába.

Obrábanie laserom expanduje do oblastí, kde ostatné druhy obrábania zlyhávajú.

Dôležitým faktorom procesu odstraňovania materiálu je jeho mechanizmus.

Môže to byť:

- vyvolanie mechanického napätia prostredníctvom nástroja;
- využitie tepelnej energie, kde dochádza k vypareniu materiálu;
- aplikácia elektrochemických reakcií vyvolaných elektrickým poľom v elektrolyte, ktoré rozrušujú atómovú mriežku materiálu obrobku;
- chemické reakcie rozrušujúce atómové väzby.

Špecifiká lasera

Jedným z typických **špecifik** obrábania prostredníctvom laserového lúča je odstraňovanie atóma za atómom, pričom energia laserového lúča spôsobuje zmenu tuhej fázy na tekutú a/alebo na plynnú.

Pojem LASER je odvodený od začiatočných písmen anglických slov (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) čo možno preložiť ako svetelné zosilnenie stimulovanou emisiou žiarenia. Zo známych technických princípov a zariadení začiatku 21. storočia je laser energetický zdroj s najväčšou hustotou energie:

- elektrónový lúč $10^6 - 10^8 \text{ J cm}^{-2}$
- jadrový výbuch $10^{10} \text{ J cm}^{-2}$
- laser $10^{12} \text{ J cm}^{-2}$.

Ďalšími špecifikami lasera. čo sa týka jeho vlastností a využitia je, že:

- je ho možné považovať za bezkontaktný nástroj;
- energiu možno dávkovať;
- nevyžaduje vákuum;
- pri interakcii s bežným prostredím a obrobkami nevzniká rontgenové žiarenie;
- výsledný lúč možno opticky ovládať, spracovávať a viesť;
- z jedného zdroja možno lúč doviesť do viacerých cieľov.

Laser a svetlo

V r. 1704 charakterizoval Newton svetlo ako prúd častíc, lebo majú tendenciu šíriť sa priamočiari a svetlo má isté vlnové vlastnosti. Toto bolo akceptované v nasledujúcom storočí. Laser sa líši od bežného svetla, lebo pozostáva s fotónov rovnakej frekvencie a fázy.

Vlastnosť lasera produkovať koherentné svetlo je založená na princípe, že fotóny svetla môžu budiť elektróny v atóme, ktoré emitujú fotóny vyžarujúce svetlo s presne rovnakou frekvenciou. Túto myšlienku vyslovil Einstein v r. 1917 ale prvý laser bol skonštruovaný o pol storočia neskôr.

Fyzikálny princíp lasera

Z fyzikálneho hľadiska je laser kvantovo - elektronický zosilňovač elektromagnetického žiarenia. Laser je zdrojom intenzívneho monochromatického a časovo a priestorovo koherentného žiarenia. Princíp je založený na stimulovanej emisii fotónov v aktívnom prostredí lasera.

Pri normálnych podmienkach sa väčšina atómov, iontov alebo molekúl (častíc) nachádza v najnižšom energetickom stave. Ak sú tieto častice excitované do vyšších energetických stavov pôsobením vonkajších zdrojov energie, napr. intenzívnymi svetelnými zábleskami, výbojom, vnorením do magnetického poľa a pod., budú počas preskoku do pôvodného alebo nižšieho energetického stavu vyžarovať nekoherentné svetelné žiarenie. Pôsobeniu vonkajších energetických zdrojov sa hovorí čerpanie lasera. U lasera sa tieto emitované fotóny pohybujú v tzv. rezonátore (optickom), ktorého technickým vyhotovením je uzavretá trubica (dutina), ktorá má na koncoch navzájom rovnobežné kovové zrkadlá z ktorých jedno je vysokoreflexné a druhé polopriepustné, umožňujúce výstup lúča. Prúd takto získaných fotónov má identickú vlnovú dĺžku, smer a fázu. Fotóny, ktoré nie sú usporiadané rezonátorom, nie sú riadené zrkadlami, na vybudzovanie väčšej emisie bude dutina zosilňovať iba tie fotóny, ktoré sú správne orientované.

Stavy a fázy zosilnenia lasera sú znázornené na obr. 1., kde

- a) častice aktívneho prostredia sú v nevybudenom stave
- b) počiatkový stav spontánnej emisie
- c) pokročilý stav spontánnej emisie excitovaných častíc vonkajším zdrojom do vyšších energetických hladín
- d) počiatkový stav stimulovanej emisie fotónov po zrážke emitovaných fotónov
- e) zosilňovacia fáza, viacnásobný odraz fotónov medzi zrkadlami
- f) fáza koherentného lúča vystupujúceho polopriepustným zrkadlom.

Proces je trvalý (to neznamená, že kontinuálny), pokiaľ je zabezpečená inverzná populácia.

Inverzná populácia je nutná podmienka činnosti lasera.

Unikátne vlastnosti lasera sú monochromaticita (jednofarebnosť, vyžarovanie na jednej frekvencii). Laserové svetlo pozostáva v praxi z niekoľkých spektrálnych čiar veľmi malej šírky (dopln obr. z rukopisu). Monochromaticita je dôležitá v aplikáciách interferometrie, holografie, merania rýchlosti a vzdialeností, izotopovej separácii a v spojovej a informačnej technike. Nie je dôležitá pri obrábaní laserom.

Priestorová a časová koherencia ukazuje vzťah medzi elektronickými a magnetickými komponentami elektromagnetickej vlny. Ak sú tieto komponenty všetky usporiadané do radu – lúč je koherentný. (Analogiou môže byť skupina pochodujúcich vojakov, pri pohľade na rady spredu je rameno pri rameni –priestorová koherencia, pri pohľade na skupinu z boku sa vzdialenosti nemenia keď sa skupina pohybuje – časová koherencia.)

Ohyb je fenomén, pri ktorom sa svetlo ohýba okolo ostrohranného predmetu. Veľmi malý rozptyl laserového svetla spôsobuje, že pri reflektorovaní dosiahne oveľa ďalej ako bežné svetlo. Divergentný uhol napr. HeNe lasera je 0,2 mR.

Žiarivosť svetelného lúča je v podstate svetelný výkon a vyjadruje sa vo $W/m^2/steradian$. Typický HeNe laser s výstupom 1 mW má žiarivosť o 2 rády vyššiu ako povrch slnka.

Žiarivosť nemožno zvýšiť optickou manipuláciou, závisí predovšetkým od konštrukcie dutiny.

Základné prvky lasera

Každý laser sa skladá z troch základných častí:

1. Aktívne zosilňovacie prostredie, ktoré obsahuje atómy, ióny alebo molekuly schopné excitácie na emisné energetické hladiny a ktoré je schopné zaistiť inverznú populáciu.
2. Zdroj energie, ktorý túto excitáciu vyvolá.
3. Optický rezonátor, ktorý zabezpečí mnohonásobný odraz fotónov od planoparalelných zrkadiel dutiny (obr. 2.).

Budiaca energia laserového efektu

Ak je frekvencia žiarenia budiaceho zdroja (výboj, teplo, magnetické pole a i.) ν_{ab} , je podmienkou prechodu platnosť vzťahu

$$h \cdot \nu_{ab} = E_b - E_a, \text{ kde}$$

H – Plancova konštanta ($6,626 \cdot 10^{-34}$ Js)

$E_{a,b}$ – energia príslušnej hladiny

Ak je táto sústava uvedená do rovnovážneho stavu pri teplote T (°K), možno na základe vzťahov štatistickej mechaniky vyjadriť pomer populácie na energetickej hladine „a“ k populácii na hladine „b“:

$$N_a/N_b = e^{-(E_b - E_a)/kT}, \text{ kde}$$

K – Boltzmanova konštanta ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K)

Pretože E_b je vždy väčšie ako E_a , je $N_a > N_b$ a pri absolútnej nule budú všetky častice na najnižšej energetickej hladine.

Absorpciou fotónov budiaceho žiarenia prejdú niektoré častice na vyššiu energetickú hladinu.

Z tejto analýzy vyplýva:

1. $N_a > N_b$; systém bude vždy absorbovať energiu z budiaceho zdroja rýchlejšie než ju bude prostredníctvom stimulovanej emisie odovzdávať (vracať).
2. Vysoká hustota energie budiaceho zdroja vyvolá v krajnom prípade vyrovnanie populácie na obidvoch energetických hladinách $N_a = N_b$, teda rýchlosť stimulovanej emisie bude v tomto prípade totožná s rýchlosťou pri ktorej budiace žiarenie bude absorbované.

Typy laserov

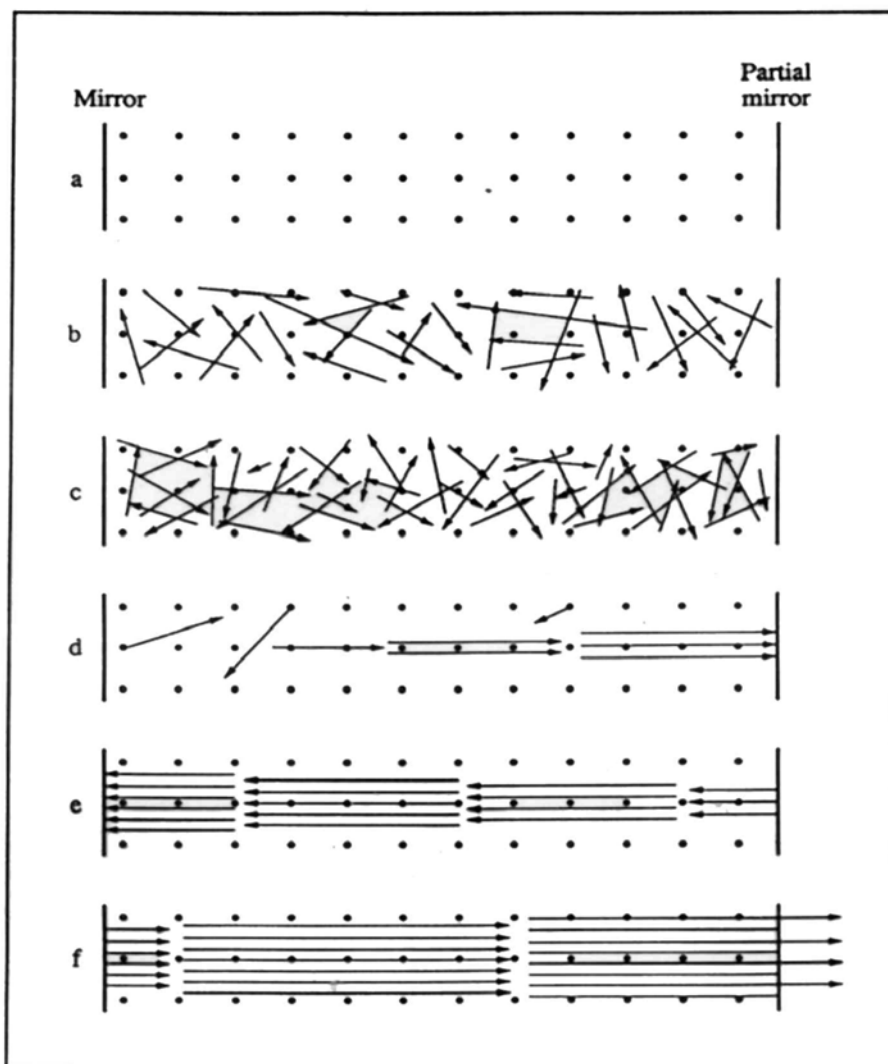
Lasery sa najčastejšie rozdeľujú podľa aktívneho prostredia (druhu čerpania):

lasery pevnej fázy
plynové
kvapalinové
chemické
polovodičové

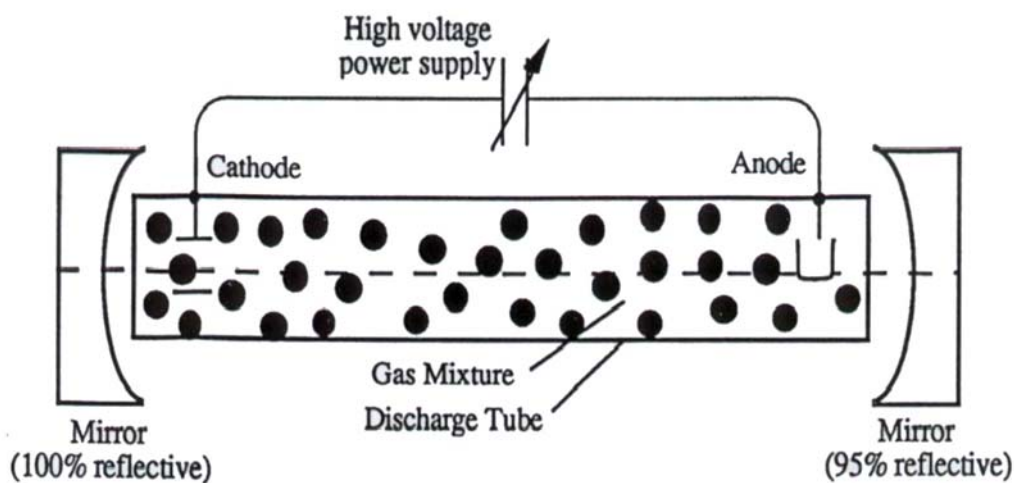
podľa pracovnej hodnoty vlnovej dĺžky.

Prakticky všetky lasery môžu pracovať v dvoch časových modoch:

- kontinuálna vlna – laser žiari bez prerušenia
- pulzný mod – laser žiari periodicky (prerušovane).



Obr. Stav a fázy zosilnenia lasera



Obr. 2. Základné časti lasera (zrkadlá odrazivé, zmes plynov, výbojková trubica, vysokonapäťové napájanie, katóda, anóda)

Lasery pevnej fázy

využívajú ióny uvoľnené do kryštalickej mriežky.

Aktívne prostredie je tvorené určitým typom kryštálov alebo skla dopovaného iontami jedného zo skupiny prechodových prvkov periodickej sústavy (napr. ióny Cr^{3+} , ióny kovov vzácnych zemín, predovšetkým Nd^{3+}). Polovodičové lasery sú síce lasery pevnej fázy ale majú odlišnú excitáciu a generáciu žiarenia, preto sú považované za samostatnú skupinu.

Rubínový laser

Aktívne prostredie tvorí $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_3\text{O}_2$ (Cr mu dáva červenú farbu) v tvare tyčky s vybrúsenými planparalelnými plochami na koncoch okolo ktorej je ovinutá trubica vo funkcii xenónovej alebo selénovej výbojky ako zdroja čerpania. Typická pracovná vlnová dĺžka je 694,3 nm, stredný výkon neprekračuje 1 W, maximálny výkon v pulznom režime 1 ms je $10\text{-}10^4$ W s účinnosťou 0,1 %. Využíva sa predovšetkým v holografii a pri meraní vzdialeností.

Neodýmový laser

Aktívne prostredie tohto druhu lasera je $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (laser je známy ako YAG), typická dĺžka vlny je 1,06 μm , výkon v kontinuálnom režime je do 150 W, maximálny výkon v pulznom režime asi do $2 \cdot 10^4$ kW

Plynové lasery

Aktívnym prostredím je plyn alebo zmes plynov. K čerpaniu týchto druhov laserov spravidla postačuje dostatočne intenzívny elektrický výboj.

Plynové lasery sú ďalej rozdelené na skupiny v závislosti od zloženia laserovacieho média:

- neutrálny atóm He Ne (najpopulárnejší viditeľný laser s dĺžkou vlny 0,6328 μm)

Potrebné „lavínové“ vlastnosti má Ne-atóm, prechod elektrónov a prítomnosť He iniciuje výboj, ktorého energia sa transformuje k Ne atómom v nízkotlakovej výbojkovej trubici. Energetická účinnosť neprekračuje hodnotu 0,1 %, typický výkon je 50 mW. Používa sa v holografii, v snímaní, vytyčovaní, meraní, vo vláknových komunikačných sieťach - všade tam, kde postačuje nízka úroveň energie.

- iónový laser, alebo laser plynových iónov využíva ionizovaný plyn ako je Ar, Kr, Xe, ktoré produkujú laserový lúč s vlnovou dĺžkou 0,5 – 1 μm . budenie je iniciované elektrickým výbojom, ktorý sa dosiahne dvoma spôsobmi: plyn je ionizovaný a elektróny sú privedené do vybudeneho stavu. Výsledný lúč môže dosiahnuť výkon až niekoľkých wattov. Aplikačné spektrum zahŕňa predovšetkým spektroskopiu a chirurgiu.

- molekulárny laser využíva molekuly plynu ako laserovacie médium. Molekuly sú vybudené do vibračných stavov. Prenosy medzi rôznymi vibračnými stavmi zabezpečujú fotóny. Predstaviteľmi tohto druhu lasera sú CO, HF a CO₂ lasery.

CO₂ laser je vhodný na aplikácie obrábania. Vyžaruje svetlo s vlnovou dĺžkou 10,6 μm v ďalekoinfračervenej oblasti elektromagnetického spektra. Laserovacie médium je zmesou CO₂, N a He.

Laserovací mechanizmus sa tu odlišuje od predošlých typov. Molekuly CO₂ sa riadne vybudia až pri kolíziách s molekulami N, ktoré im pridávajú energiu (vybudenie sa dosahuje zvýšením vibračnej energie).

Pre CO₂ molekuly je strata svetelnej energie a tepla počas energetického transferu oveľa menšia než u iných laserov. Energetická účinnosť tohto druhu lasera je až 10 %. Konštruujú sa v závislosti od geometrického usporiadania výboja a toku plynu v trubici na výkon niekoľkých W až 15 kW.

Aplikačná oblasť tohto typu lasera je obrábanie, zváranie, tepelné spracovanie a i.

1. **typ** Ak tok plynu nie je riadený, maximálny výkon je asi 50 W a životnosť lasera končí disociáciou CO_2 na $\text{CO} + \text{O}$.
2. **typ** tohto lasera je laser s axiálnym tokom (obr. 3.). Axiálny tok umožňuje nahradzovať „vyčerpaný“ CO_2 novým. Typický výkon je do 4 kW pri kontinuálnom režime. Do výkonu 1 kW má intenzitný profil Gaussovo rozloženie. Tieto lasery s axiálnym tokom môžu byť ďalej rozlíšené ako nízkorýchlostné, kde výkon na bežný meter trubice je asi 60 W. Lasery s vysokorýchlostným tokom (60m/s) majú typický výkon 600 W na meter trubice s totálnym výkonom do 6 kW. Tepelné ovplyvnenie rezonátora je vďaka rýchlemu prúdeniu média pomerne menšie ako u predošlého, ale chladiť treba aj v tomto prípade.

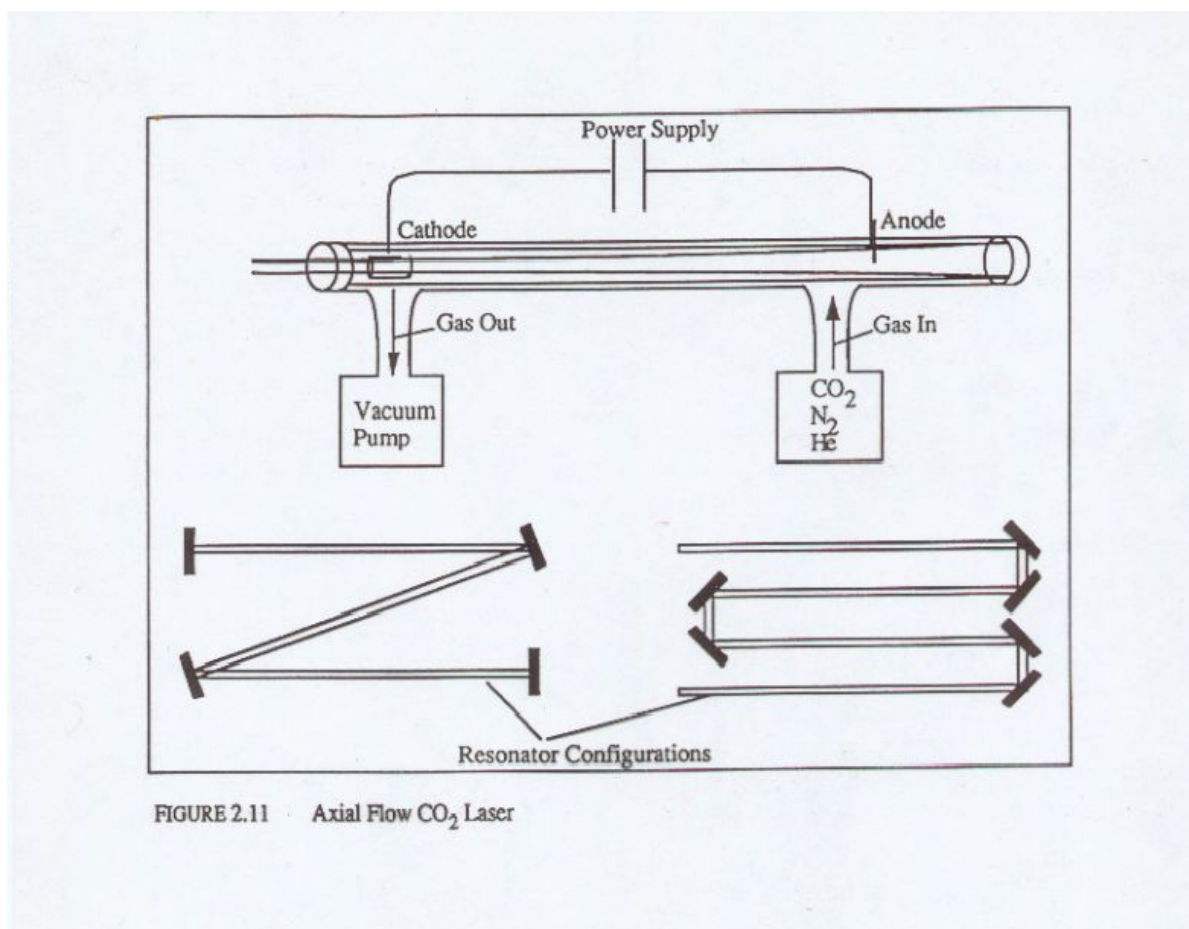


FIGURE 2.11 Axial Flow CO_2 Laser

Obr. 3. CO_2 laser s axiálnym tokom laserovacieho média

3. **typ** CO_2 laserov je tranzverzný prietokový laser, v ktorom plynová zmes He, N_2 a CO_2 prúdi kolmo na optickú dutinu. Typický výkon je 10kW/m. Optika je vyrobená zo selenidu zinku alebo arzenitu gália (obr. 4.).

Technológia optických vlákien zatiaľ nevyvinula spoľahlivé vlákno na prenos laserových lúčov vyšších výkonov, pružné kovové vlákna so zrkadlovým interiérom dokážu preniesť maximálne 6 kW (údaje z r. 1998).

Medzi plynové lasery patrí excimerový laser, ktorý používa xenón Xe_2 , fluor F_2 a ďalšie vzácne plyny ako prvky laserovacieho média. Typické excimerové komplexy obsahujú ArF, KrF, XeF a iné. Tieto zlúčeniny existujú iba časovo a to vtedy, keď je vzácny plyn vybudený (vo vybudenom elektrónovom stave). Spoj-puto je veľmi silné ale trvá iba niekoľko nanosekúnd. Ak atóm vzácneho plynu už nie je vybudený, každá zložená molekula sa rozkladá na elementárne komponenty, čo je sprevádzané uvoľňovaním väzobnej energie vo forme fotónov.

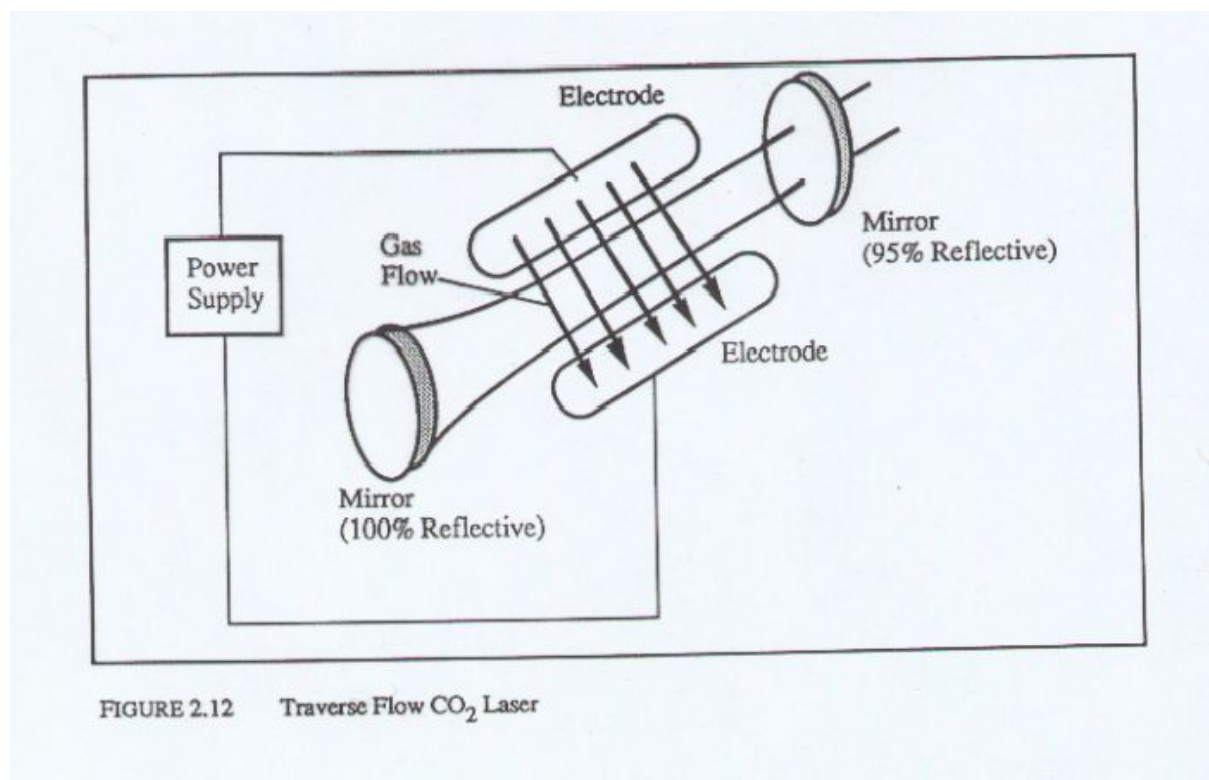


FIGURE 2.12 Traverse Flow CO_2 Laser

Obr. 4. CO_2 laser s priečnym prúdením laserovacieho média

Excimerové lasery produkujú vysokovýkonné pulzné lúče s priemerným výkonom nad 100 W a pulzom 1000/sek.

Fyzika procesu odstraňovania materiálu týchto laserov je odlišná od CO_2 a Nd:YAG laserov. Namiesto odstraňovania materiálu tavením a odparovaním, kde sa jedná o tepelnú premenu z pevného na kvapalný, resp. na plyný stav, excimerové lasery snímajú materiál through ablation, t.j. lámu chemické väzby materiálu disociáciou na chemické zložky. Netvorí sa kvapalná alebo plyná fáza! Organické materiály absorbujú fotóny v tenkej vrstve v blízkosti povrchu, čo láme spojenia organických zložiek.

Ďalšou osobitosťou excimerového lasera v porovnaní s CO_2 je možnosť zaostrenia lúča na malú plochu a prejsť krížom cez obrobok. Tieto lasery produkujú lúč veľkého priemeru, ktorý možno nechať prejsť maskou, zaostriť na obrobok šošovkou. Nezaostrený excimerový laser má hustotu energie 100-200 mJ/cm^2 . maska je vyrobená z kovu odrážajúceho väčšinu laserového svetla. Napr. excimerový laser dokáže vyvítať 5000 otvorov v polyamidovom páse za 3 sekundy, čo CO_2 laseru trvá 50 sekúnd. (použije sa kontaktné maskovanie).

Kvapalinové lasery

Aktívnym prostredím týchto laserov je roztok určitého organického farbiva vo vode, metanole alebo etanole. Lasery vyžarujú na vlnových dĺžkach v rozmedzí asi 0,4 – 1 μm . Ich typickou vlastnosťou je možnosť preladenia. Používajú sa vo fotochémií, spektroskopii a i.

Chemické lasery

Inverzná populácia v týchto laseroch sa dosahuje prostredníctvom chemickej reakcie. Predstaviteľom tejto skupiny je napr. fluorovodíkový laser. Úrovňou výstupného výkonu sa radia k CO₂ laserom.

Polovodičové lasery

Na rozdiel od iných druhov laserov, kde sú vlnové funkcie vzťahované na molekulu alebo atóm, v polovodičových laseroch je nutné vlnové funkcie vzťahovať na kryštál ako celok. Moderným typickým predstaviteľom polovodičového lasera je GaAsAl laser používaný v počítačovej, informačnej a spotrebnej elektronike (CD, MD, DVD).

Prevádzkové podmienky laserov

Odhliadnuc od šírky možností využitia laserov, budú poznatky v tejto časti cieleňé k priemyselnému a predovšetkým výrobnému využitiu lasera. Niektoré myšlienky v nasledujúcom texte konvenujú s fiktívnou inštaláciou výkonového laserového pracoviska.

Výkon lasera

Pre danú aplikáciu a materiál existuje rozsah relevantného užitočného výkonu lasera. Ako bolo uvedené, účinnosť laserov sa pohybuje v rozmedzí 0,1 až 15 %, preto pri voľbe výstupného výkonu lasera treba s jeho účinnosťou rátať v zmysle dimenzovania napájania.

Pri poddimenzovanom výbere bude proces pomalý a niektoré obrábané materiály, resp. ich hrúbky budú pre danú voľbu irelevantné.

Najvyšší kontinuálny výkon poskytujú CO₂ lasery, najvyšší pulzný výkon – Nd:YAG laser.

Úroveň požadovaného výkonu lasera vychádza z údajov optických a tepelných vlastností obrábaného materiálu, napr. keramický materiál vyžaduje zvýšený výkon lasera z dôvodu vysokého latentného tepla typického pre tento druh materiálu.

Optické vlastnosti materiálu sa prejavujú pri dopade lúča na obrobok. Absorpčná schopnosť materiálu má najväčší vplyv na výkon lasera. Pohltivosť určuje podiel zložiek energií pohltených a odrazených do okolia. Absorpčný koeficient sa mení v závislosti od vlnovej dĺžky dopadajúceho lúča, drsnosti obrábaného povrchu, teploty a prípadného druhu povlaku na povrchu obrobku. Istá korekcia sa vykonáva vzhľadom na požadovanú hrúbku, tvar a iné parametre obrobku. Napr. Al a Cu a ich zliatiny majú pre lúče s vlnovou dĺžkou okolo 10 μm (CO₂ laser) nízku pohltivosť, ale pre lúče s vlnovou dĺžkou okolo 1 μm (Nd:YAG laser) oveľa vyššiu.

Časový mod lasera môže byť: nepretržitý a
 prerušovaný.

V prerušovanom režime je čerpaná energia ukladaná až po dosiahnutie určitého prahu, kedy nasledujúci výboj vyvolá pulz lúča. V tomto režime možno navštívať hlbšie otvory, prerezať väčšie hrúbky, je tu menšie tepelné zaťaženie obrobku (vhodné pre polyméry).

Kontinuálny mod ponúka výhodu jemnejšieho obrobeneho povrchu a aplikuje sa tam, kde sa vyžadujú veľké úbery.

Druh časového modu závisí predovšetkým od druhu laserovacieho média, pre plynové lasery je typický kontinuálny mod, pre pevné lasery – pulzný mod.

Priestorový mod

Profil lúča možno charakterizovať tranzverzným elektromagnetickým modom (TEM). TEM₀₀ mod má Gaussovo priestorové rozloženie a je považovaný za najvhodnejší mod pre laserové obrábanie, lebo frontálna fáza lúča je jednotná (obr. 5). Pri zaostrovaní dochádza k minimálnemu ohybu a mod umožňuje generovať maximálny priemer lúča. Iné mody je užitočné aplikovať, ak sa vyžaduje pôsobenie na väčšej ploche (napr. zváranie, tepelné spracovanie)

Veľkosť zaostrenej plochy

má pri operáciách obrábania prvoradú dôležitosť. Laserový lúč s malou divergenciou môže byť zaostrený na menšiu plochu ako lúč s vysokou divergenciou.

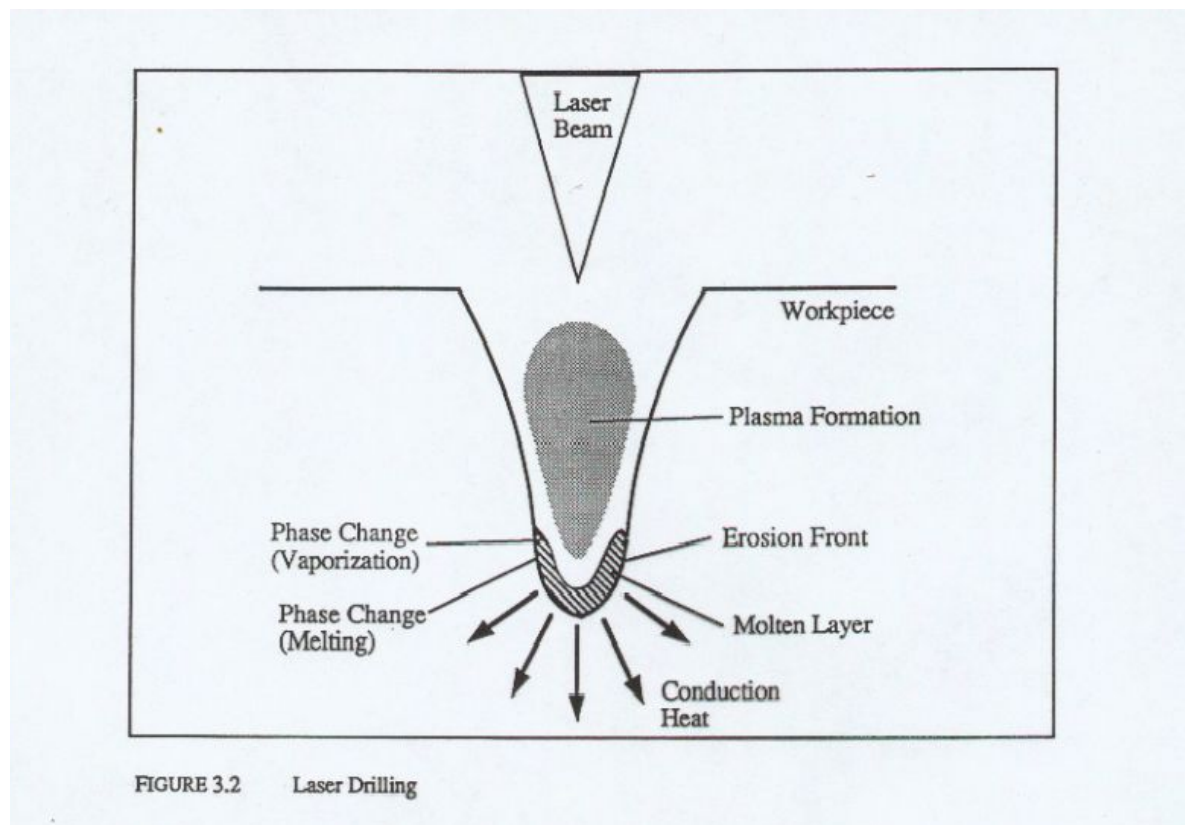
Základy laserového obrábania

Možno ho rozdeliť na jedno, dvoj a trojrozmerné diferencovaním kinematiky erózie počas interakcie lúč/materiál.

Všetky laserovacie procesy majú spoločné charakteristiky (obr. 5.):

- Tvorba roztavenej vrstvy
- Tvorba plazmy
- Odraz lúča od čela erózie

Laserové obrábanie nahrádza mechanické odstraňovanie materiálov ako sú tvrdené kovy, keramika a kompozity.



Obr. 5. Dekompozícia jednorozmerného pôsobenia laserového lúča na materiál obrobku

Efektivita laserového obrábania závisí oveľa viac na tepelných a optických ako na mechanických vlastnostiach obrábaného materiálu, napr. materiál s vysokou krehkosťou a tvrdosťou s nízkou tepelnou vodivosťou a rozptylom je pre laser prijateľný.

Nedochádza k mechanicky indikovanému odstraňovaniu, k opotrebeniu nástroja a kmitom stroja.

Laser lúč môže byť považovaný za smerový tepelný zdroj s hrúbkou tvoriacej priamky = priemer lúča

V procese je prvorado sledované:

- a) množstvo odstráneného materiálu. Množstvo odstráneného materiálu je závislé od rýchlosti šírenia erózneho čela. V 2-rozmernom obrábaní závisí od aktivačnej hĺbky a priečnej rýchlosti, v 3-rozmernom analogicky.
- b) rozmerová presnosť, ktorou sa porovnáva ideálny a reálny tvar otvoru, drážky a pod.
- c) kvalita povrchu, ktorá sa hodnotí drsnosťou a objem tepelne ovplyvnenej vrstvy.

Interakcia laser-materiál

Špecifikom laserovej invázie na obrábaný materiál je zmena kvality interakcie lúč/materiál počas procesu, ktorá je vyvolaná predovšetkým zmenou teploty, štruktúrnymi a/alebo fázovými premenami, existenciou plazmy rôzneho stupňa a i.

Spätná väzba je vyvolaná materiálom, jeho schopnosťami odrážať časť lúčov a reverzne cez optiku lasera generovať dodatkovú populáciu častíc, čo zmení pôvodnú charakteristiku lasera. Náhodné fluktuácie nominálnej funkcie, činnosti a prenosových charakteristík lasera môže vyvolať aj uhol náklonu ovplyvňovaného materiálu, vzájomný translačný pohyb roztaveného kúpeľa voči lúču, zmena koeficientu absorpcie dôsledkom plazmatických pár a i.

Z hľadiska materiálovej vlastnosti absorpcia/odrazivosť je z technických materiálov dobre absorbujúca antikorozívna oceľ a zle absorbujúca meď a jej zliatiny.

Technologické aplikácie lasera

Prednosti lasera v porovnaní s konvenčnými technológiami

- je to bezkontaktný nástroj (bez pojmu priameho opotrebovania)
- je adaptabilný, zmena technológie nevyžaduje zmenu nástroja
- jeho prevádzka je čistá, nevznikajú mechanické triesky, nie je potrebná rezná kvapalina
- prevádzka je tichá
- laserový zväzok možno separovať a samostatne viesť sériou zrkadiel
- tepelne ovplyvnená oblasť je minimálna
- technologický proces možno automatizovať, robotizovať, zariadenie možno zaradiť do PVS
- toxické látky možno odstraňovať jednoduchým odsávaním.

Nedostatky lasera

- vysoká zriaďovacia cena
- požiadavka kvalifikovanej obsluhy
- bezpečnostné opatrenia na vysokej úrovni
- nízka účinnosť procesu 0,2 – 15 %

Technické aplikácie lasera možno rozdeliť

V prípade 1 rozmerného procesu (vrtanie, 1D-proces) je lúč vzhľadom k obrobku v kľude. erózný front je lokalizovaný na spodku vrtaného otvoru obr. 2.5.

Množstvo odstráneného materiálu je závislé od rýchlosti šírenia erózneho čela. Hodnotenie rozmerovej presnosti vychádza z topografie priečného prierezu vyrobeného otvoru, menovite zo stupňa kužeľovitosti otvoru. Kvalita povrchu sa hodnotí drsnosťou a objemom a tvarom tepelne ovplyvnenej vrstvy. Pri splyňovaní materiálu sa pozoruje tvorba plazmy. Nad interakčnou zónou sa nachádza oblak plynu, ktorý čiastočne absorbuje energiu vstupujúceho lúča. V niektorých prípadoch „zohrievaná plazma“ vystupuje ako druhý zdroj, ktorý uľahčuje proces vrtania, spôsobuje však problémy s rozmerovou presnosťou otvoru.

Uhol dopadu lúča 80° sa ukázal účinnejší ako pravý uhol, pri hlbokých otvoroch môže nastávať viacnásobný odraz od steny otvoru.

Laserové vrtanie má niekoľko predností pred mechanickými metódami:

- vďaka tepelnej povahe lasera možno vrtáť keramiku, tvrdé kovy, polyméry
- laserom možno dosiahnuť menšie rozmery (priemery) otvorov. v závislosti od optiky 0,018 – 1,3 m
- riadením pohybu obrobku možno vyrobiť napr. 100 otvorov/s
- vrtáť možno pri odklone až 80° od normály k povrchu.

Nedostatkami tejto výrobnéj metódy je, že:

- nemožno vyrobiť stupňovitý otvor
- výroba nepriechodných („slepých“) otvorov je problematická; nepretržitým monitorovaním a reguláciou výkonu lasera – uspokojivá
- divergencia lúča vrátane jeho interakcie so stenou už vyrobeného otvoru sa pri výrobe hlbokých otvorov môže ukázať neakceptovateľná, rieši sa to pohybom ohniska optiky smerom k obrobku.

V 2 rozmerom procese (2D) je laser v relatívnom pohybe k obrobku (rezanie). Fyzikálny mechanizmus je analogický vrtaniu avšak tepelné pole nie je v priestore a čase stabilné.

Prednosti:

- pre väčšinu priemyselne využívaných materiálov do hrúbky asi 12 mm je proces rýchlejší a operatívnejší ako klasické deliace výrobné metódy;
- možno obrábať (rezať) aj nerovné povrchy.

Nedostatky:

- v závislosti od obrábaného materiálu nad hrúbkou asi 15 mm efektívnosť procesu prudko klesá;
- rezanie laserom zanecháva na okraji obrysu výstupok (kerf), ktorý môže byť redukovaný nastavením ohniska optiky smerom dovnútra obrobku, namiesto na povrch.

V 3 rozmerom procese (3D) sú použité 2 (sústruženie) alebo 3 (frézovanie) laserové lúče.

Metóda využíva 2 alebo 3 priesečné laserové lúče na odstraňovanie určitého objemu materiálu. Každý lúč tvorí vlastne (slepú) drážku, jednorazovým alebo opakovaným prechodom lúča. Očakávaný objem materiálu sa odobere, ak sa drážky pretnú (obr. 2. 6.).

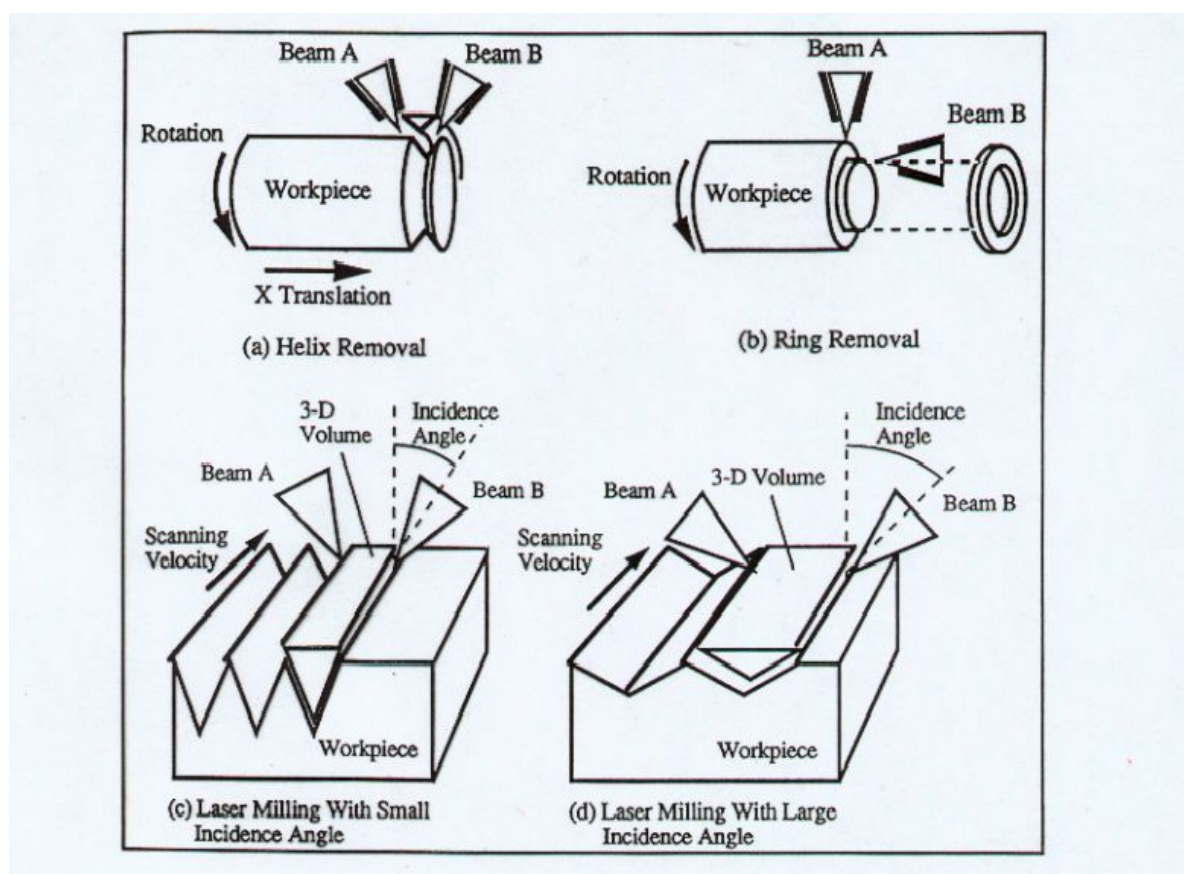
Energia je vynaložená na tavenie a/alebo splynenie materiálu v dvoch drážkach. Objem materiálu vztiahnutý na jednotku energie pri 3D je väčší ako pri 1D

Pri laserovom frézovaní sú 2 lúče v istej vzájomnej polohe a tvoria drážky v obrobku, odpad má trojuholníkový prierez. pri nastavení malého vzájomného uhla medzi lúčmi je úber značný, ale aj drsnosť obrobenej plochy a naopak. Hĺbka „drážok“ sa riadi výkonom lasera a rýchlosťou tvorby drážky.

Oproti konvenčným technikám to má prednosti:

- náradza sústruženie, frézovanie, rezanie závitov avšak iba materiálov tvrdých, krehkých abrazívnych a tých, ktoré sa obťažne obrábajú klasickými výrobnými metódami, po ktorých ostáva spravidla lepšia mikrogeometria povrchu
- keďže lúč môže byť zaostrený na malé plochy je vhodný na mikrobrábanie, opravy defektných vzácnych integrovaných obvodov a i.

Hlavným nedostatkom týchto výrobných metód využívajúcich laser ako obrábací nástroj je kolísanie hĺbky drážky, čo vyvoláva nerovnomernosť odstraňovania materiálu a potenciálne zhoršuje kvalitu novovyrobeného povrchu.



- a) analógia sústruženia - odstraňovanie skrutkovicovým pohybom
- b) analógia sústruženia - odstraňovanie „krúžkov“
- c) analógia frézovania s malým vzájomným uhlom
- d) analógia frézovania s veľkým vzájomným uhlom

Laserový obrábací systém

Systém má integrovaný rad optických, mechanických a elektrických komponentov:

- generovanie lúča lasera
- vedenie lúča
- premiestňovanie obrobku
- pomocné zariadenia.

