

LASERSKA OBRADA



LBM – Laser Beam Machining

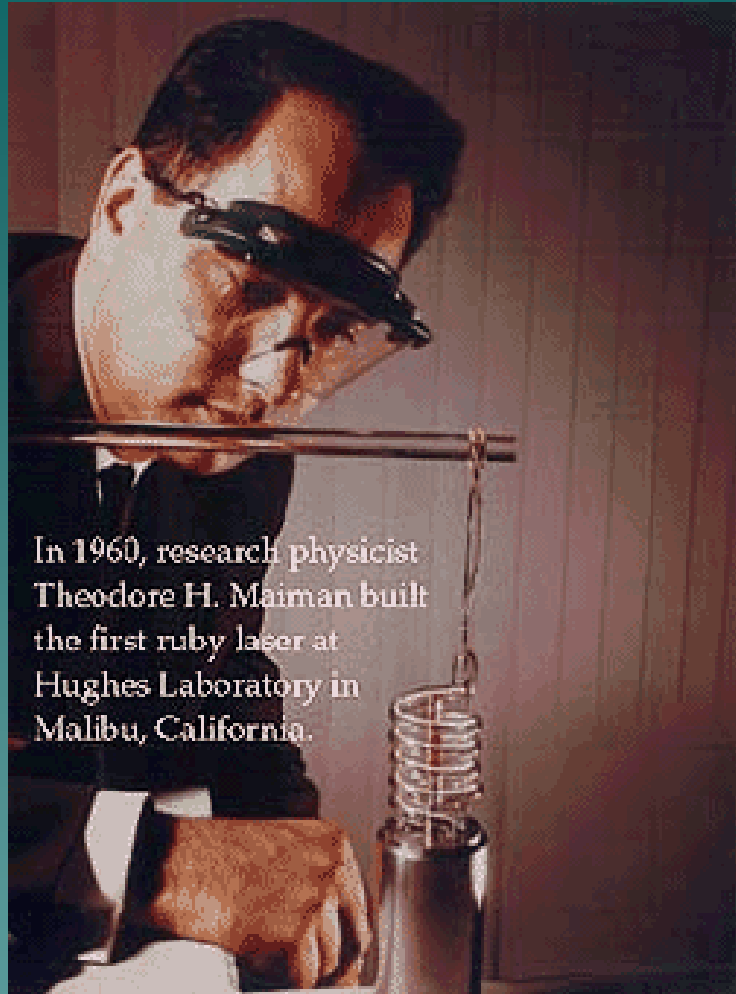
LASERSKA OBRADA

Laserska obrada je zasnovana na primeni laserskog zračenja, tj. visoko koncentrisane svetlosne energije dobijene stimulisanim zračenjem, za obradu materijala zagrevanjem, topljenjem ili isparavanjem. Snop laserskih zraka je univerzalni alat koji može da se primeni za različite vrste obrade. Za razliku od konvencionalnog alata on se ne mora specijalno naručivati za proizvodnju i ne nameće troškove vezane za skladištenje, održavanje i podešavanje.

LASER

LASER (Light Amplifier by Stimulated Emission of Radiation)

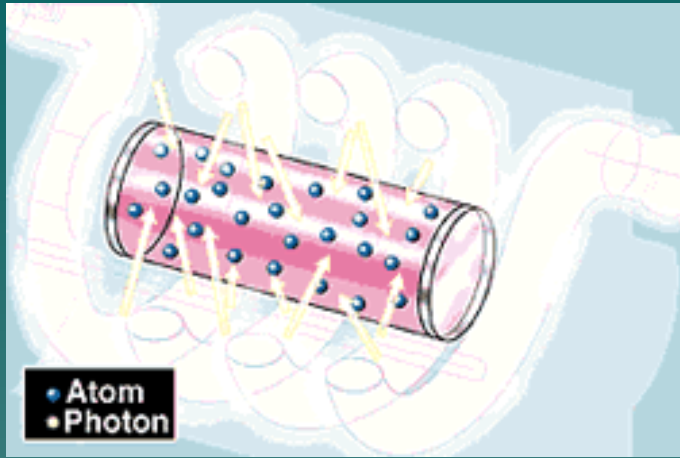
je koherentni pojačavač elektromagnetnog zračenja u optičkoj oblasti. Zračenje lasera je po svojoj prirodi svetlosno ali se razlikuje od zračenja termičkog svetlosnog izvora po velikoj spektralnoj gustini energije, izrazito uskom snopu rasprostiranja, monohromatičnosti, velikoj dužini koherencije talasa, stacionarnom frontu talasa u snopu laserskog zračenja, velikoj stabilnosti amplitude kao i u mogućnosti proizvodnje ultrakratkih svetlosnih impulsa. Prvi laseri su napravljeni čezdesetih godina ali tek u osamdesetim su dobili veći značaj i postali osnova za potpuno nove procesne i proizvodne tehnologije.



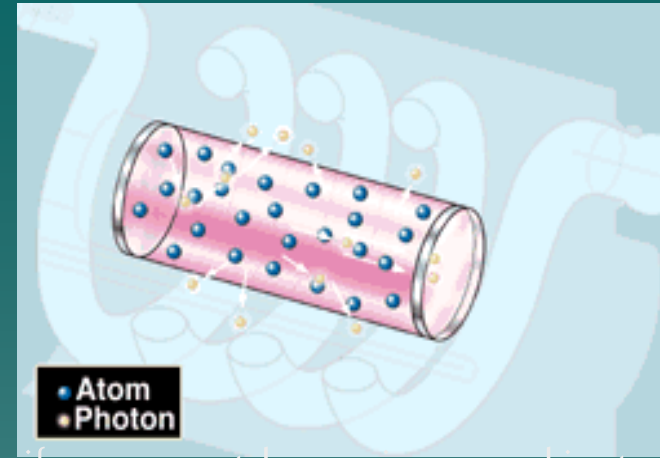
In 1960, research physicist Theodore H. Maiman built the first ruby laser at Hughes Laboratory in Malibu, California.

1960. Godine ameri~ki fizi~ar Teodor Majman napravio je prvi laser - rubinov laser u Hjud`s laboratoriji u Malibuu, Kalifornija

PRINCIP RADA LASERA



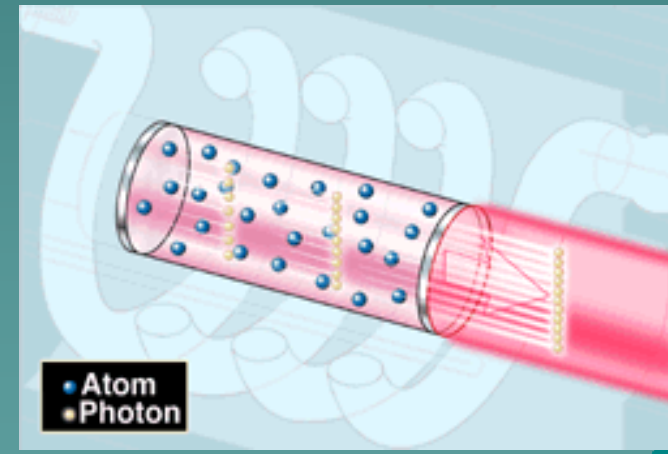
Kvarcna lampa emituje svetlost koja izaziva pobuđivanje atoma u kristalu rubina na viši energetski nivo.



Na višem energetskom nivou neki atomi emituju fotone. Fotoni atoma izazivaju stimulisanu emisiju fotona drugih atoma.



Ogledala na krajevima reflektuju fotone. Intenzitet svetlosti se rapidno povežava.



Fotoni izlaze kroz polupropusno ogledalo. To je laserski svetlosni snop.

PRINCIPIJELNA [EMA LASERA

Osnovni elementi lasera su aktivni materijal, rezonator i izvor energije (pumpa).



Da bi došlo do laserskog zračenja mora da postoji:

- aktivna sredina sa odredjenim atomima, jonima ili molekulima sa dva ili više energetska nivoa, {to omogu}uje zračenje i pojačanje svetlosti sa `eljenom izlaznom talasnom du`inom;
- izvor energije (pumpa) koji pobudjuje atome u cilju pove}anja energetskog nivoa atoma od dva nivoa i
- opti~ka povratna sprega (rezonator) u cilju pojačanja svetlosti i javljanja samooscilovanja.

PODELA LASERA

a) Prema agregatnom stanju aktivne sredine dele se na:

- ~vrste,
- te~ne i
- gasne lasere;

b) Prema re`imu rada laseri se dele na:

- impulsne i
- kontinualne lasere;

c) Prema na~inu pobudjivanja laseri se dele na:

- lasere sa opti~kom pobudom,
- lasere pobudjene elektri~nim pra`njenjem,
- lasere pobudjene hemijskim reakcijama i
- lasere pobudjene snopovima ~estica velike energije;

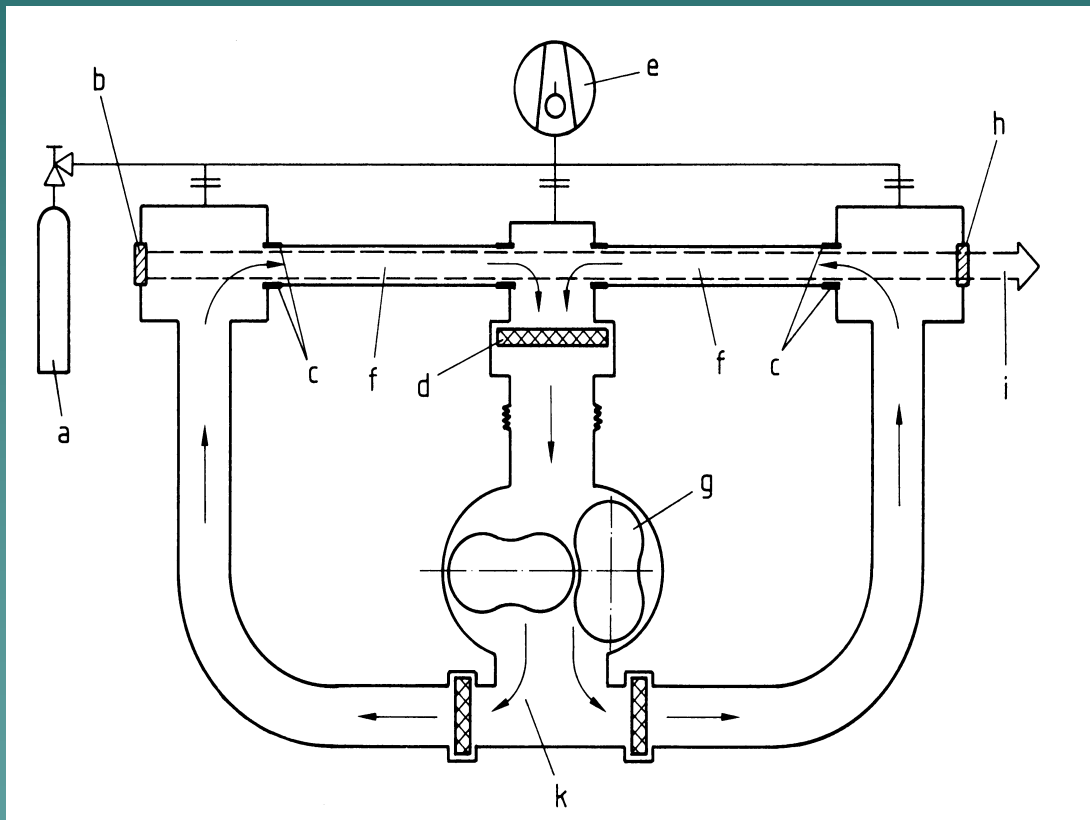
d) Prema spektru generisanja, dele se na lasere koji zra~e u:

- infracrvenoj oblasti,
- vidljivoj oblasti i
- ultraljubi~astoj oblasti.

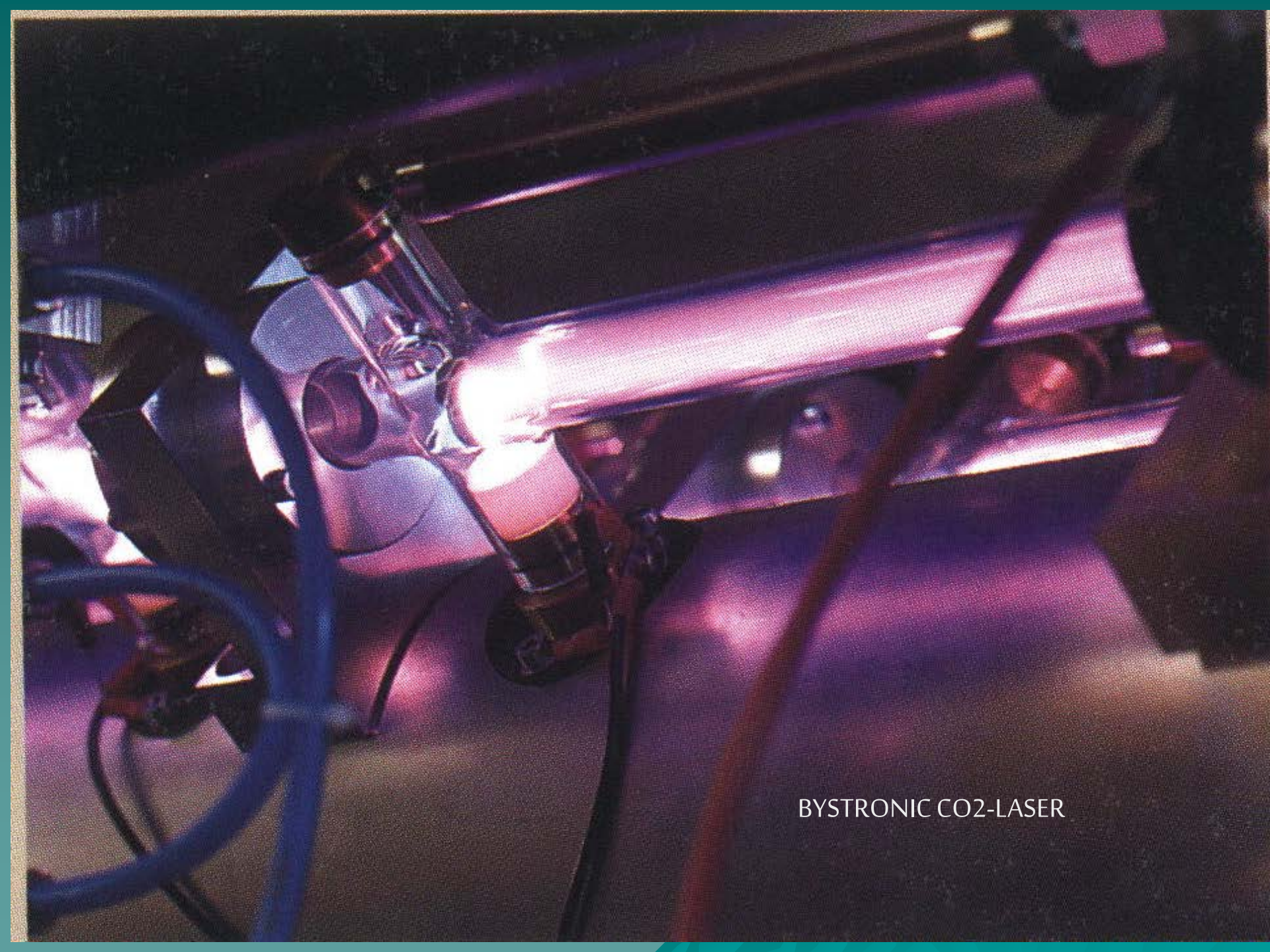
INDUSTRIJSKI PRIMENJENI LASERI

LASER	TALASNA DU@NA	SNAGA	RE@M RADA	PRIMENA
Excimer	193-248nm	$5 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^7 W$	impulsni (15-30ns)	Spektroskopija Fotohemija Obrada materijala
He-Ne	632nm	<1W	kontinualni	Merna tehnika
Rubin	693nm	$1 \cdot 10^4 - 4 \cdot 10^4 W$	impulsni (1-10ms)	Bu{enje
		100-200W	kontinualni	
Nd-YAG	1,06 μ m	$10^6 W$	impulsni (10ns)	Se-enje, bu{enje, fino zavarivanje
		500W	kontinualni	
CO ₂	10,6 μ m	< $5 \cdot 10^3 W$	impulsni (1- $1 \cdot 10^5 \mu$ s)	Se-enje, bu{enje, obe`avanje, zavarivanje, termi-ka obrada
		$2 - 2,2 \cdot 10^4 W$	kontinualni	

CO2-LASER AKSIJALNOG TOKA

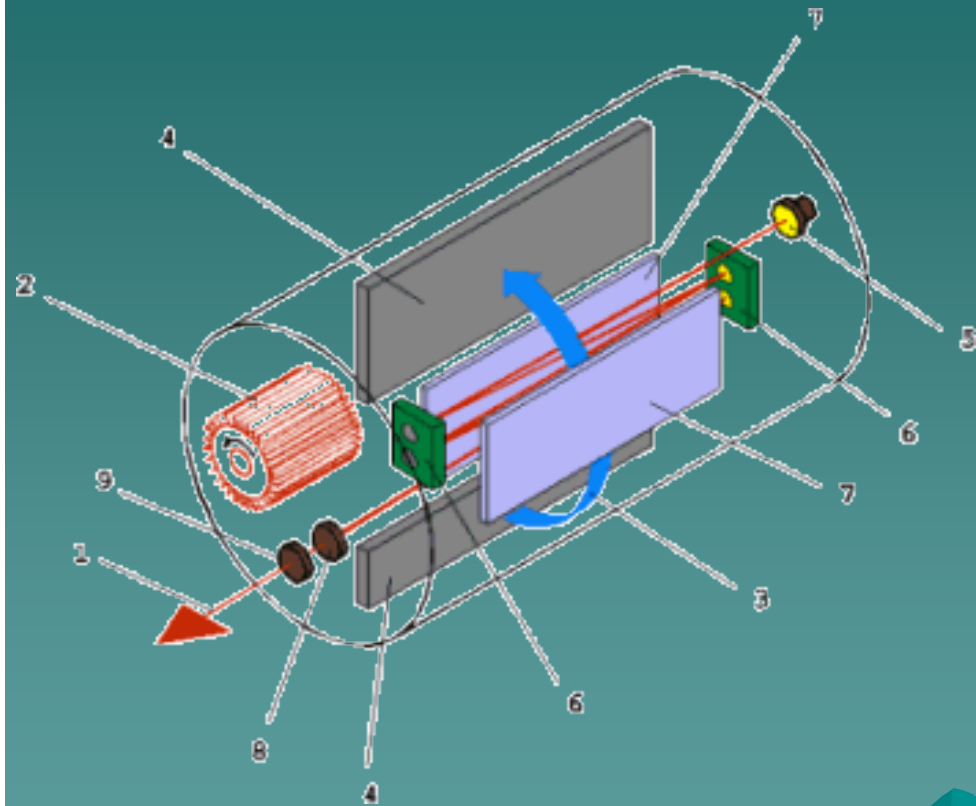
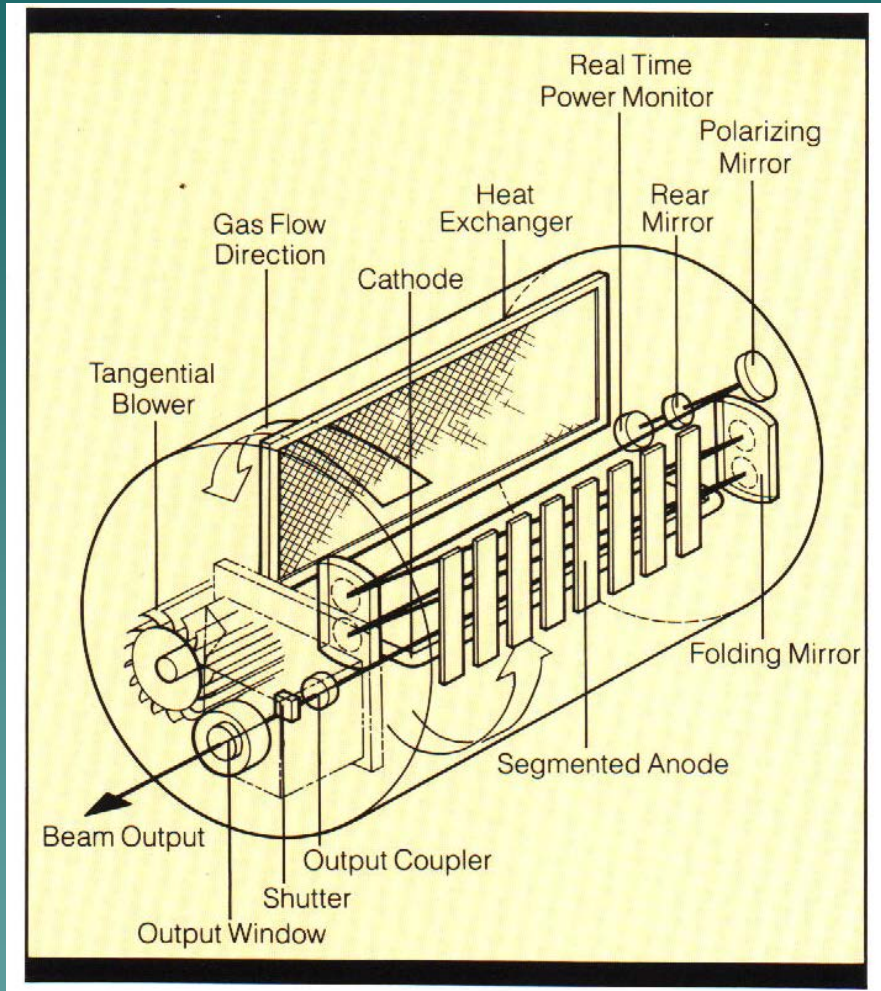


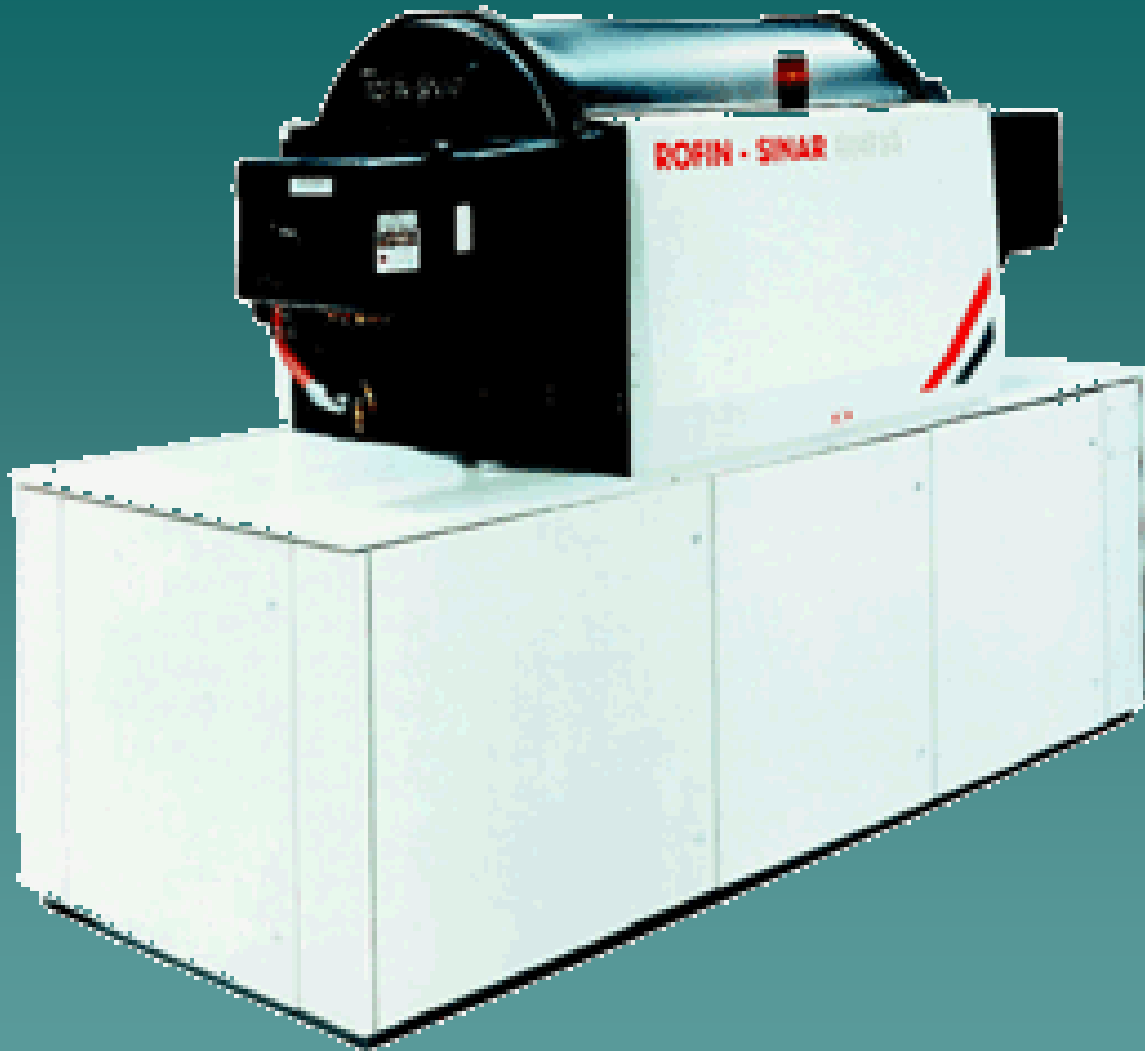
- a) gasna sme{a He-N₂-CO₂,
- b) nepropusno ogledalo,
- c) elektrode,
- e) vakuum pumpa,
- f) cev za gasno pra`njenje,
- g) cirkulaciona pumpa,
- h) polupropusno ogledalo,
- i) laserski snop,
- d) i k) izmenjiva~ toplote



BYSTRONIC CO2-LASER

CO₂ - LASER TRANSVERZALNOG TOKA SA SEGMENTNIM ELEKTRODAMA





ROFIN-SINAR CO₂-LASER

LASERSKI SNOP

karakteristike

a) Monohromatičnost

Monohromatičnost određuje širinu spektra laserskog zračenja.

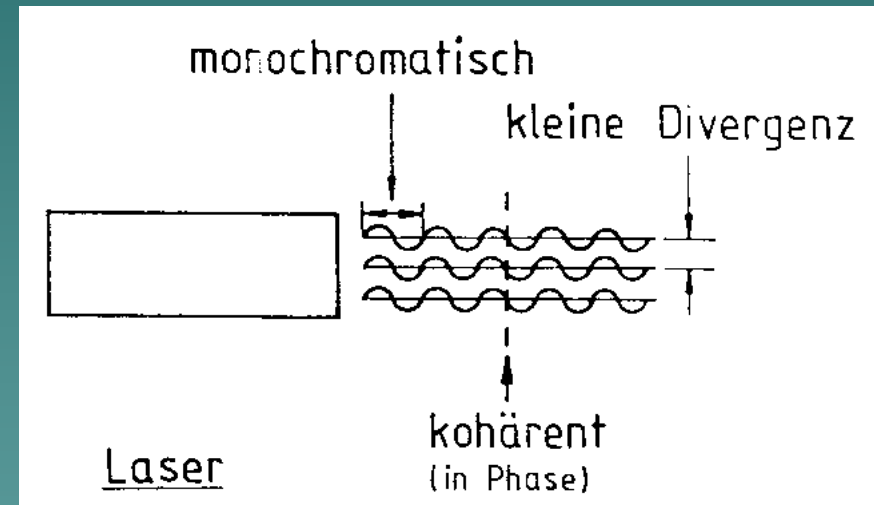
Izvor zračenja je monohromatski ako emituje zračenje samo jedne frekvencije.

b) Koherencija

Postoje dva tipa koherencije: prostorna i vremenska. Prostorna koherencija znači da između elektromagnetnih talasa nema fazne razlike. Vremenska koherencija znači da je fazna razlika u nekoj tački električnog polja uvek ista.

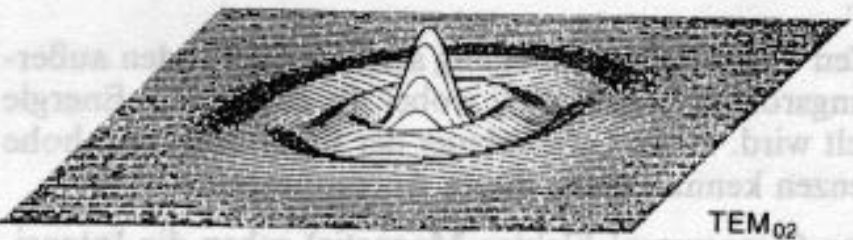
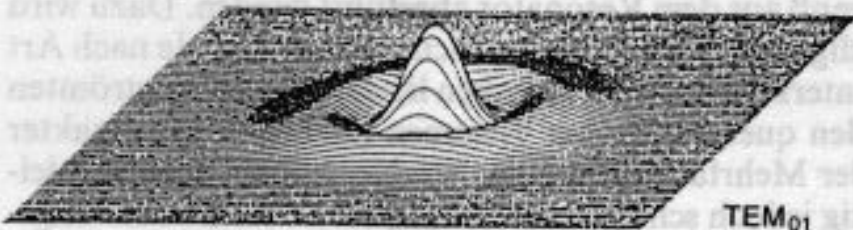
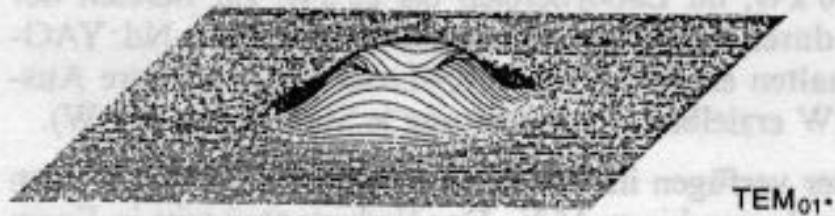
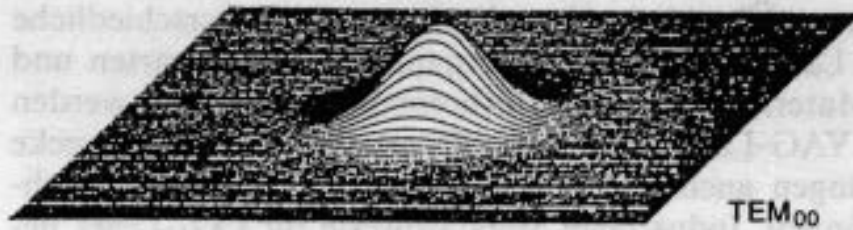
c) Divergencija

Divergencija je ugaono širenje laserskog snopa. Divergencija je mala, to znači da laserski snop ima uski pravac rasprostiranja.

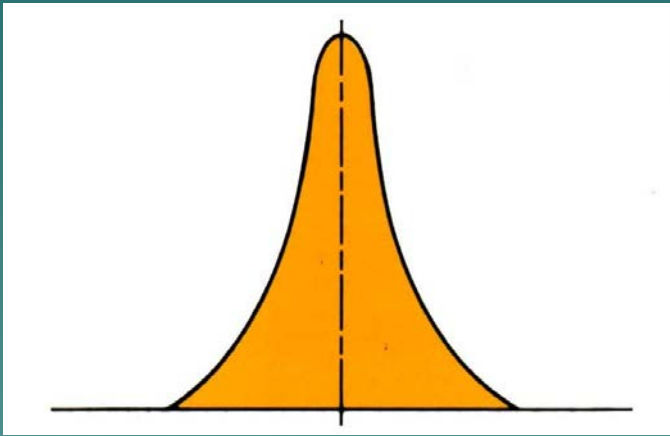


LASERSKI SNOP

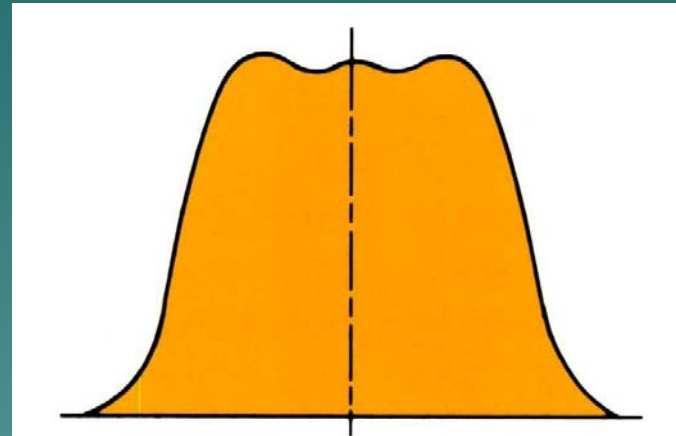
IZGLED I OZNAKE
POPRE^NIH MODOVA



RASPODELA INTENZITETA ZRAČENJA KOD LASERSKOG SNOPA



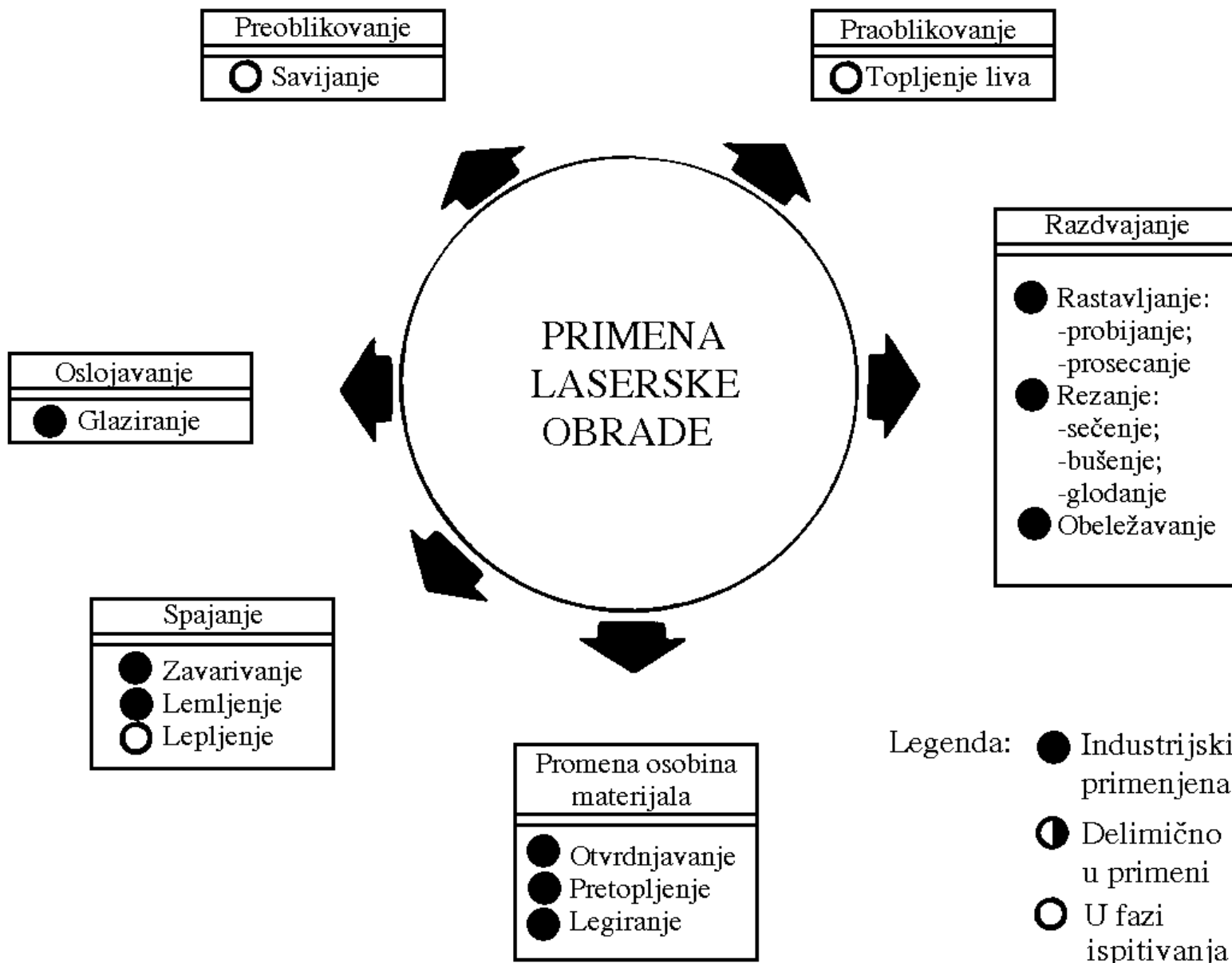
OSNOVNI MOD



VIŠESTRUKI MOD

PRIMENA LASERA

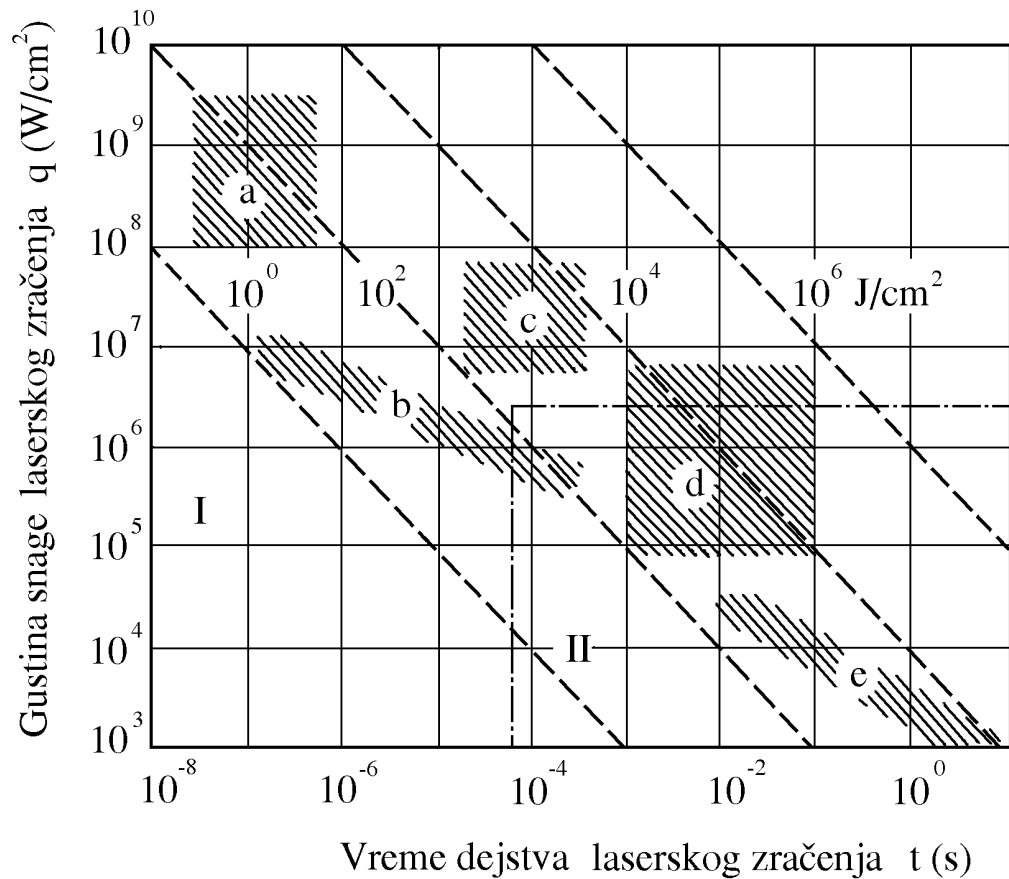
Laseri se danas koriste u industriji, medicini, nauci, vojsci, itd. U metaloprerađivačkoj industriji laseri se koriste za obradu metala, merenje i kontrolu kvaliteta. U obradi metala laseri se koriste za: bušenje, konturno sečenje limova, zavarivanje i termičku obradu. Neke od ovih operacija mogu biti izvedene samo laserima, ali za mnoge je opravdanje isto ekonomske prirode. Za mnoge primene, laserska obrada je najprecizniji i najekonomičniji metod na raspolaganju. Za neke primene laserska obrada je jedini mogući metod. Zahvaljujući brzini, fleksibilnosti i preciznosti laserske obrade, troškovi obrade su rapidno smanjeni tako da se brzo vraća uložena investicija.



Legenda:

- Industrijski primenjena
- ◐ Delimično u primeni
- U fazi ispitivanja

OBLASTI PRIMENE LASERA

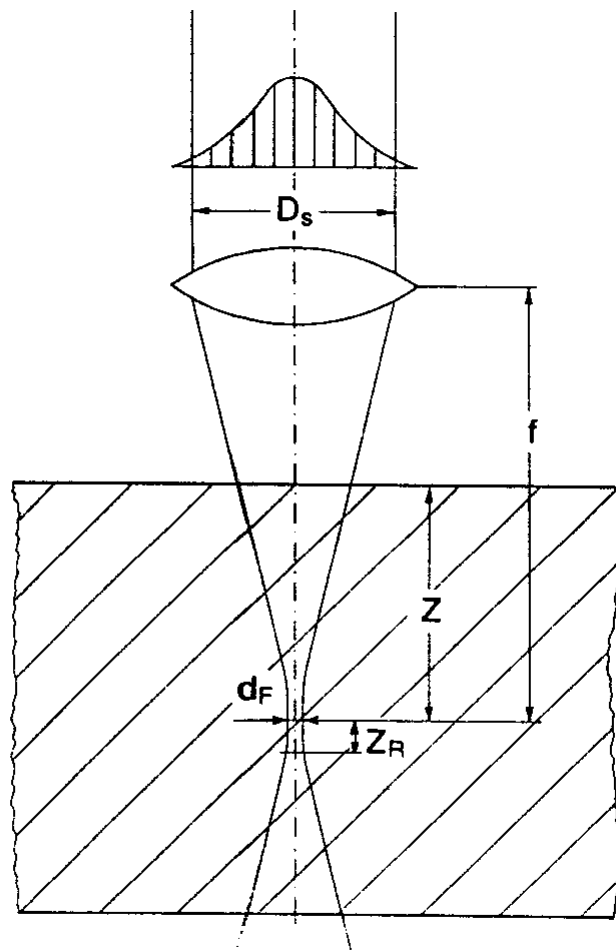


- (a) otvrdnjavanje površine
impulsnim udarnim
talasom,
- (b) poliranje,
- (c) bušenje,
- (d) sečenje, zavarivanje,
obeležavanje i legiranje,
- (e) kaljenje

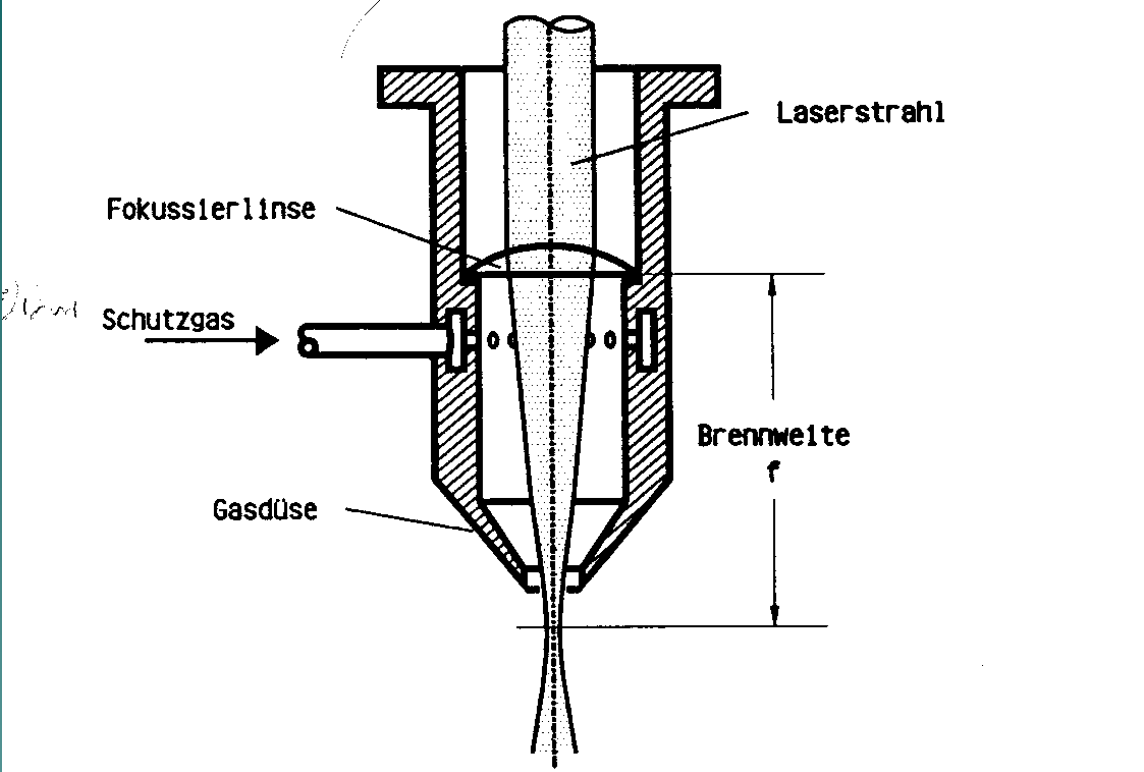
I - oblast primene impulsnih lasera velike snage,

II - oblast primene kontinualnih lasera velike snage,

FOKUSIRANJE LASERSKOG ZRAČENJA

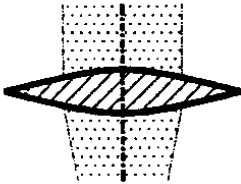


FOKUSIRANJE SO^IVIMA

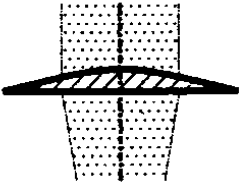


Arten von Fokussierlinsen

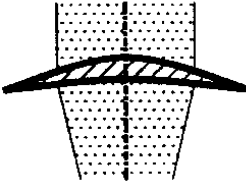
obličje rotirna za izkavarjanje



Bikonvex

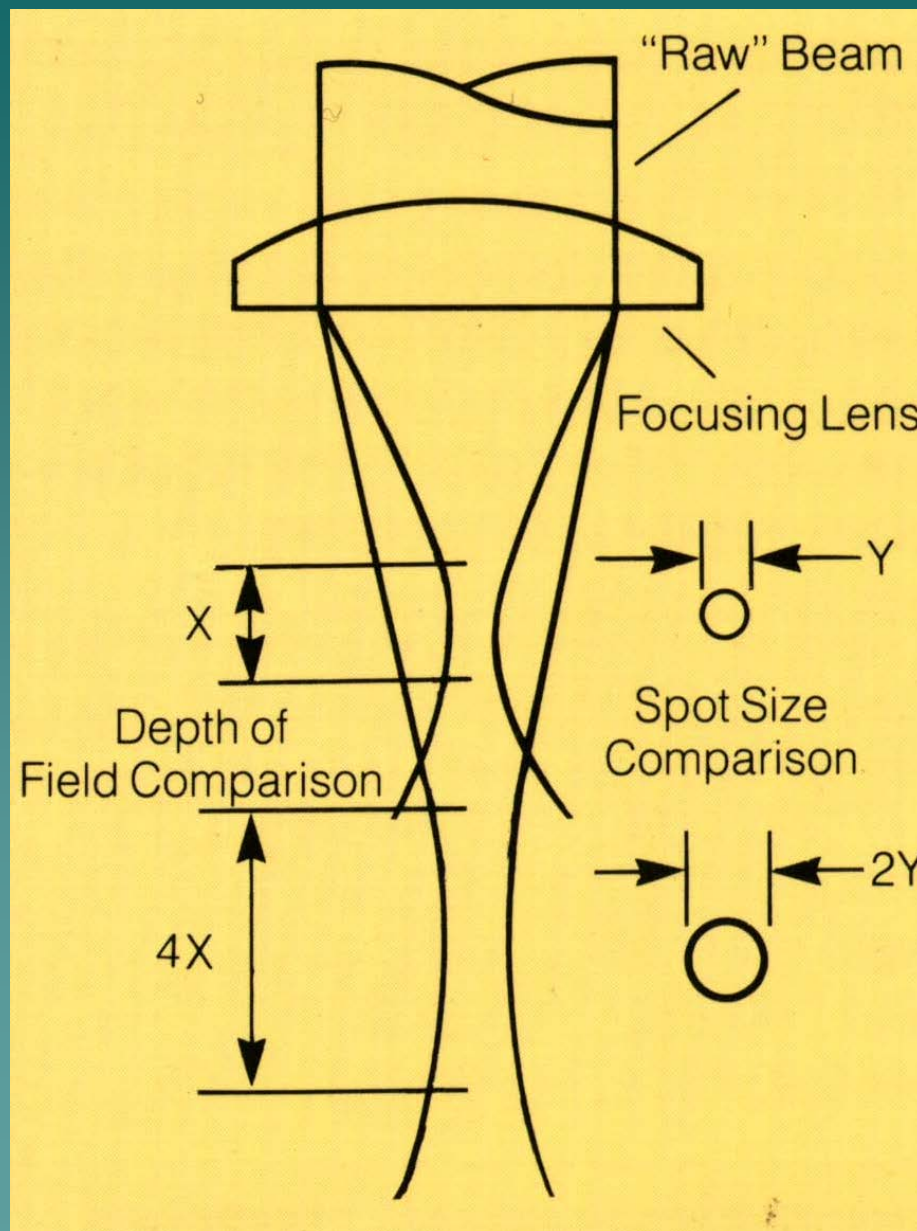


Plankonvex

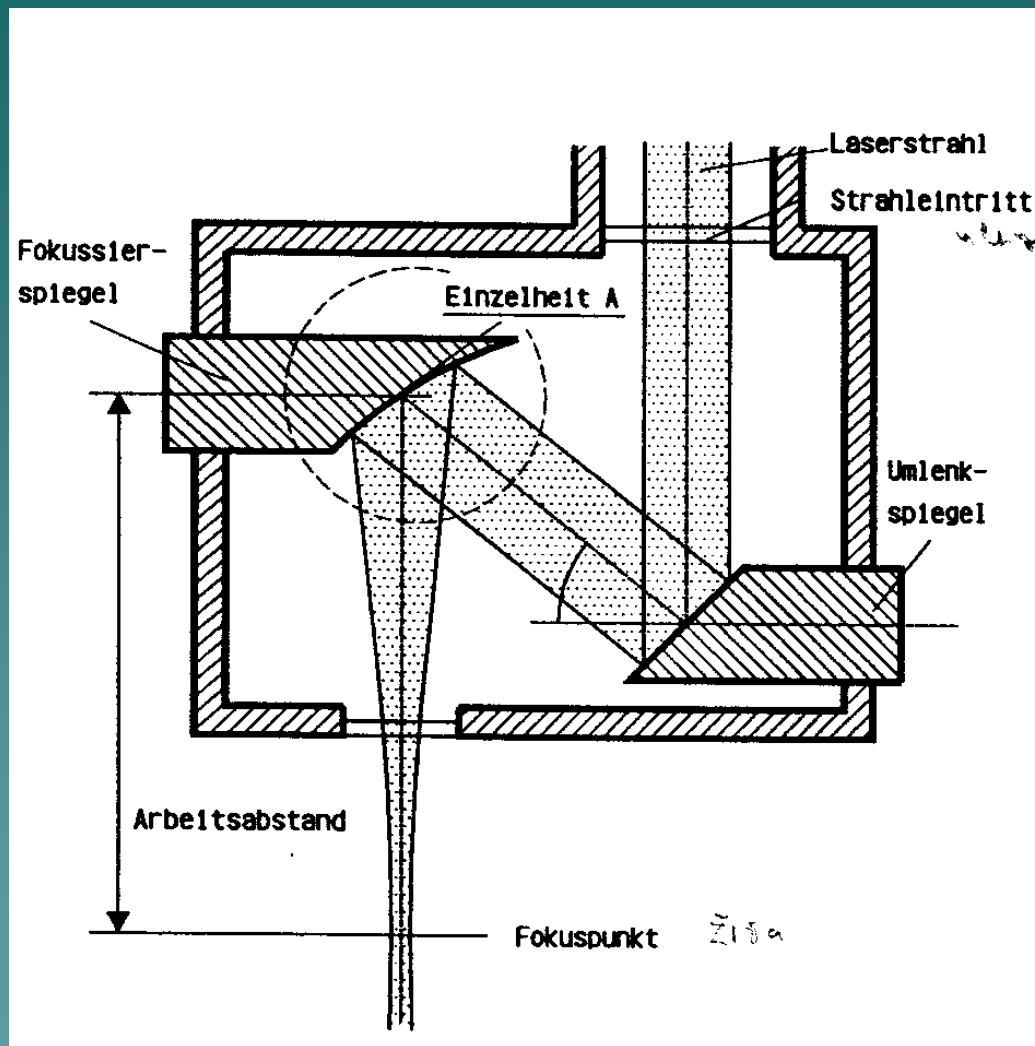


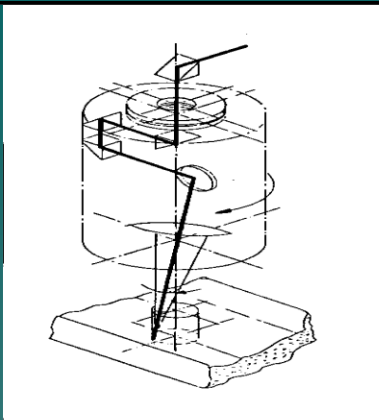
Meniskus

UTICAJ SO^IVA NA VELI^INU SPOTA I DUBINU @I@E

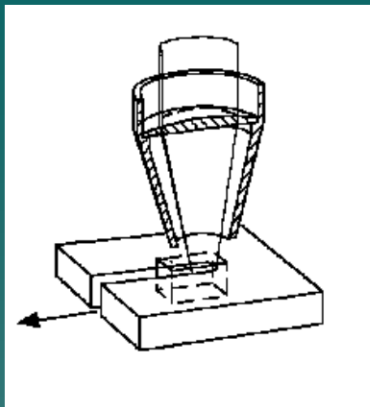


FOKUSIRANJE ZAobljenim OGLEDALIMA

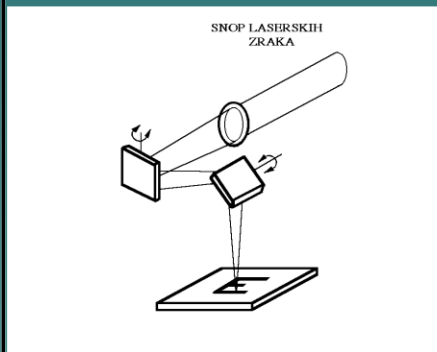




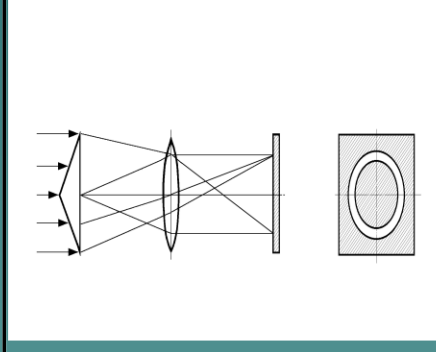
Lasersko bušenje



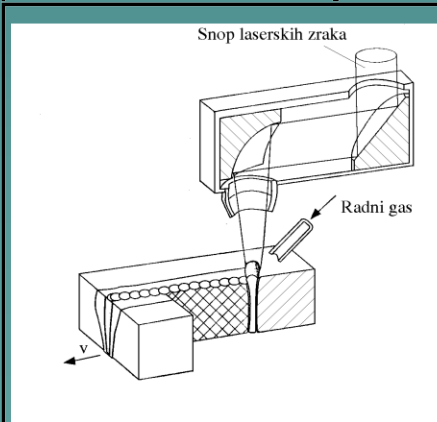
Lasersko sečenje



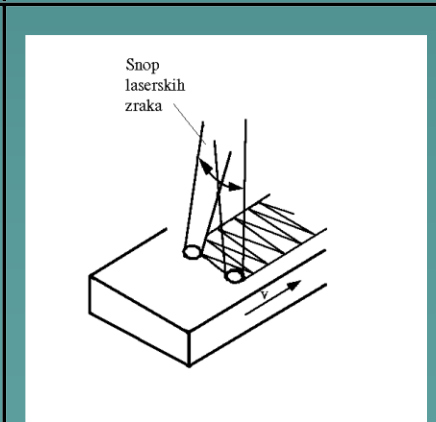
Lasersko obeležavanje



Laserska konturna obrada



Lasersko zavarivanje

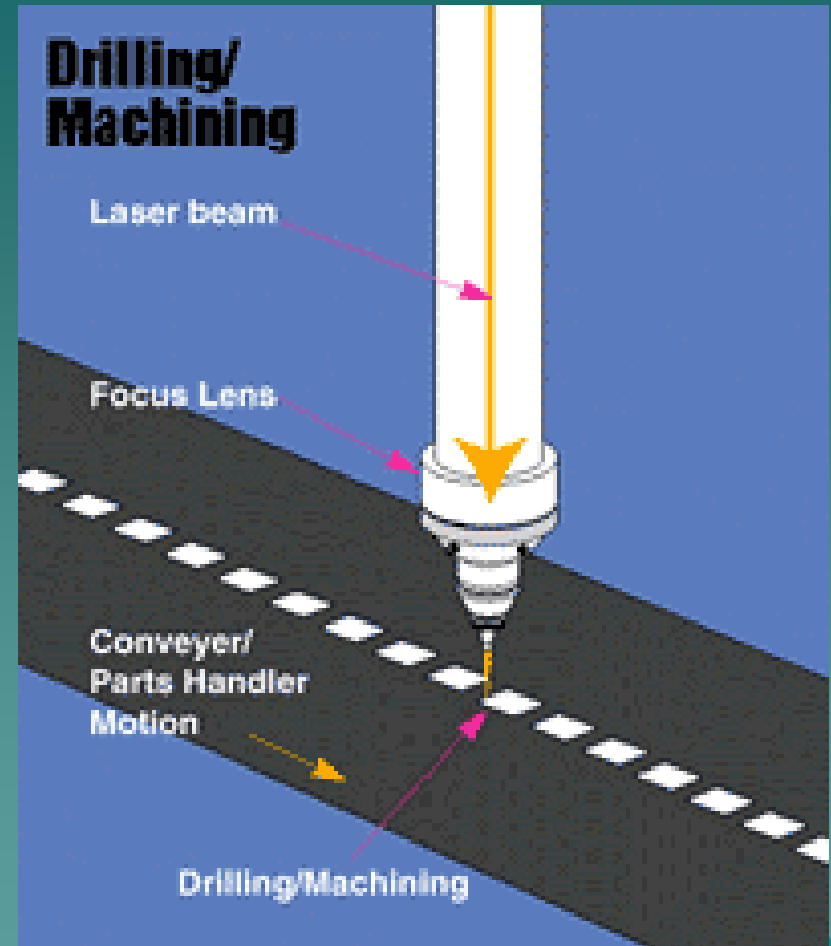
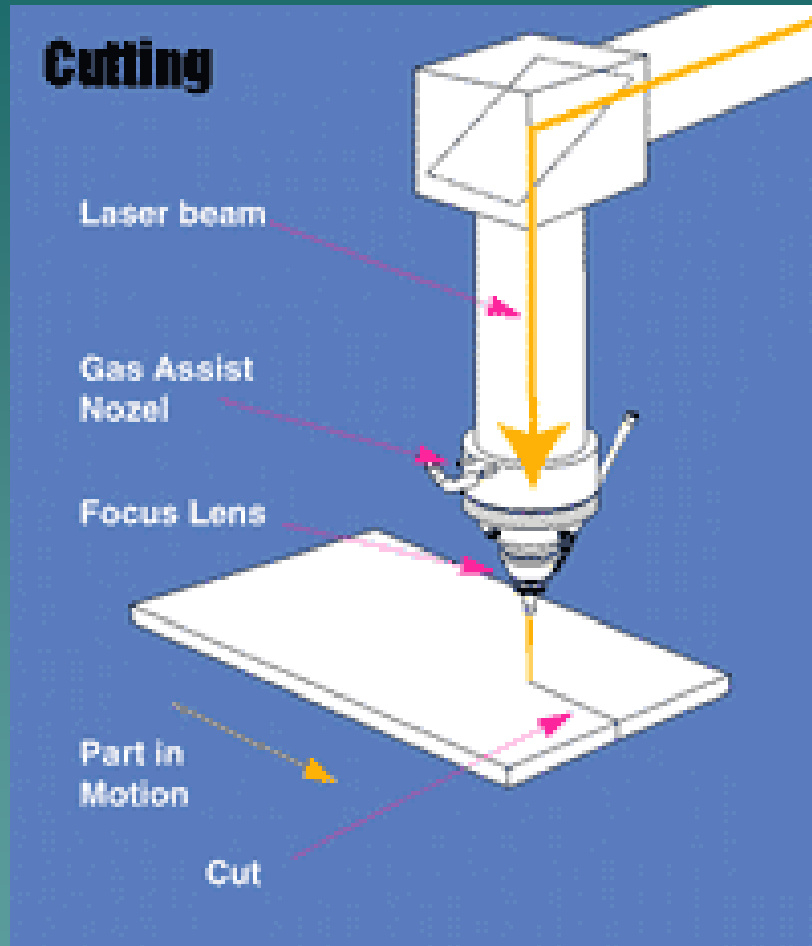


Laserska termička obrada

LASERSKE OBRADÉ :

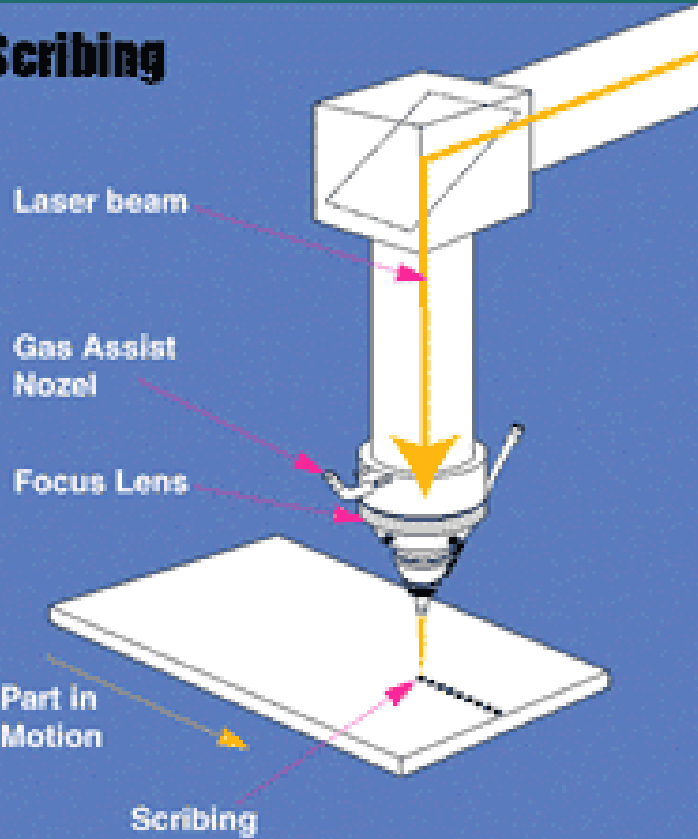
- Lasersko bušenje;
- Lasersko sečenje;
- Lasersko obeležavanje;
- Laserska konturna obrada;
- Lasersko zavarivanje;
- Laserska termička obrada;

PRIMENA LASERA

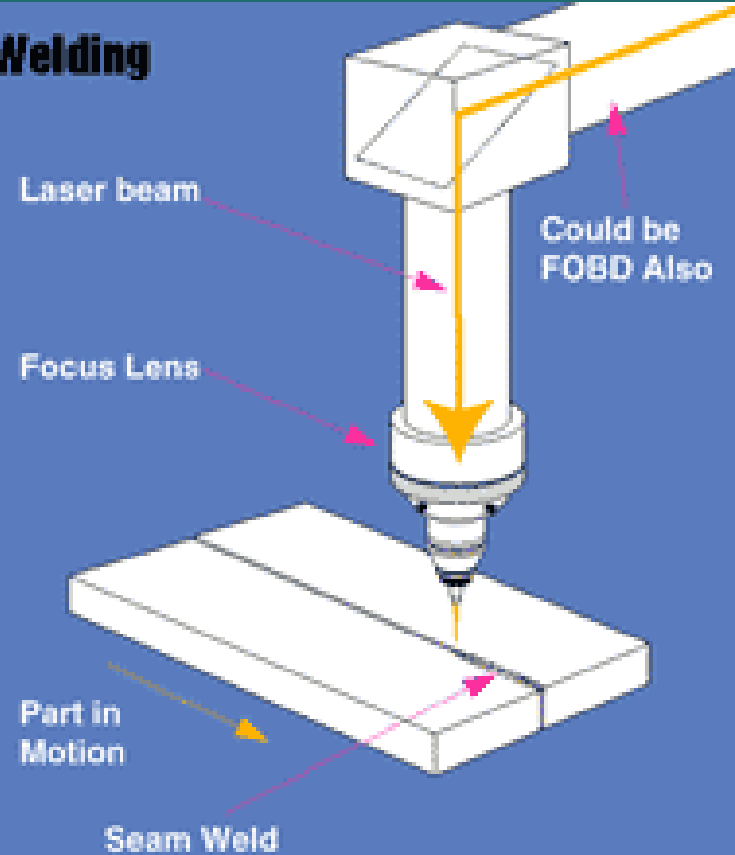


PRIMENA LASERA

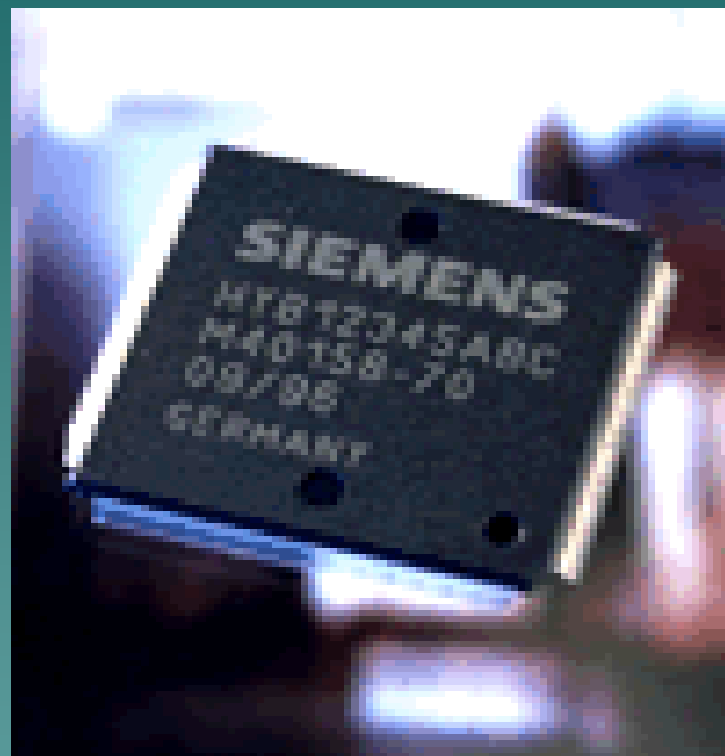
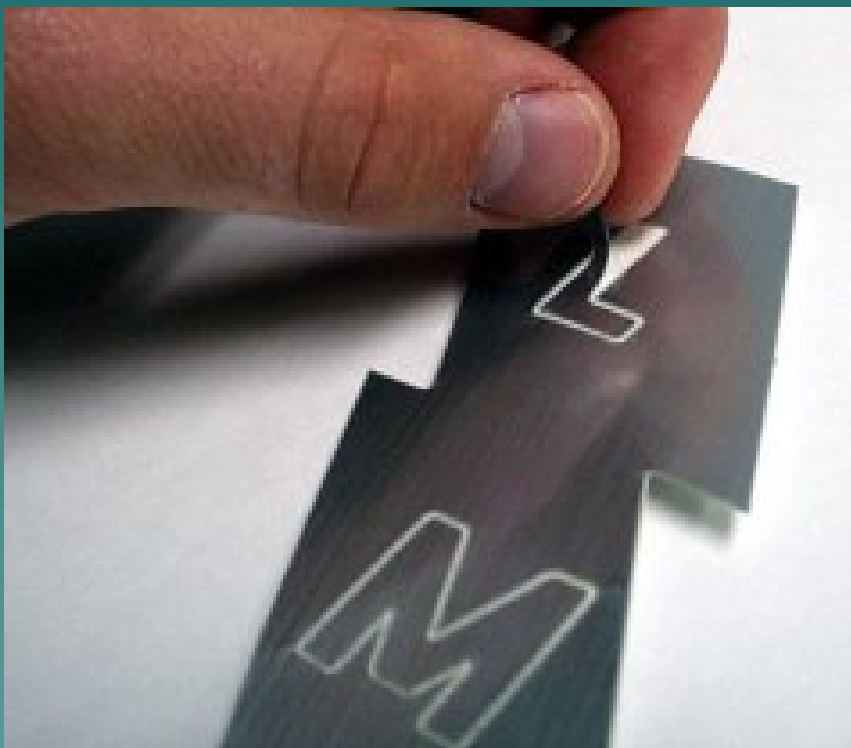
Scribing





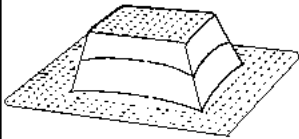



Welding



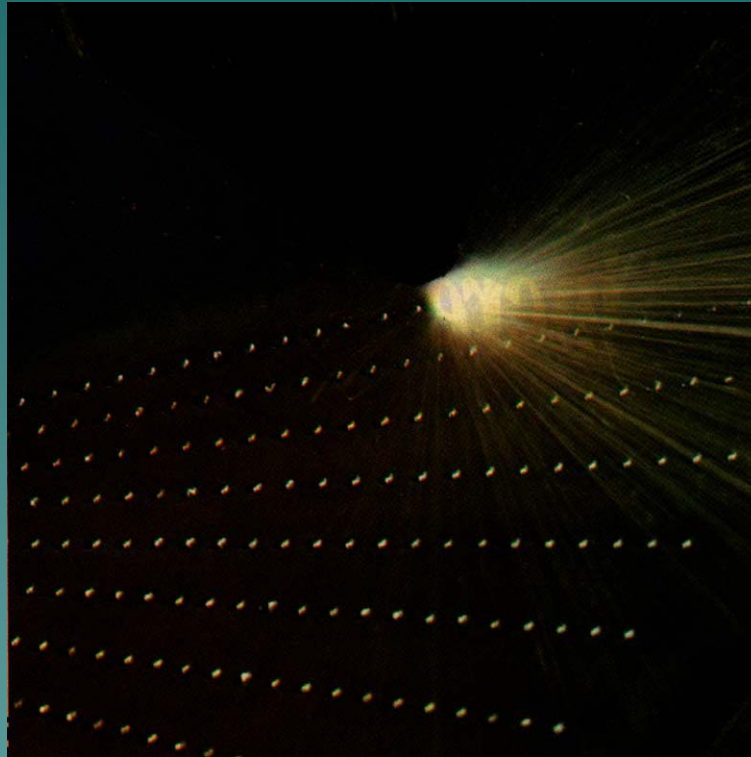
PRIMENA LASERA



KARAKTERISTIKE LASERSKIH OBRADA

Karakteristika Las. obrada	Snaga laserskog snopa P (W)	Mod	Polarizacija	Fokusirani laserski snop			Pomoćni gas	Stezanje predmeta
				Prečnik	Diverg.	Položaj žiže		
LAS. SEČENJE -sublimacijom -topljenjem -sagorevanjem	$10^6 - 10^7$ $10^6 - 10^7$ $10^5 - 10^6$	 TEM ₀₀	 Kružna	>	<	Rastojanje od površine predmeta +/- 0,1 mm	Zaštitni gas Struja zaštitnog gasa Struja kiseonika	-
POVRŠINSKA OBRADA -otvrdnjavanje	$10^3 - 10^5$	 Multi-mod	 Linearna	>	-	+/- 0,2 mm	Zaštitni gas	-Grubo -U slojevima
-legiranje -pretopljenje	$10^5 - 10^7$ $10^5 - 10^7$		 Kružna					
LASERSKO ZAVARIVANJE	$10^5 - 10^7$	 Multi-mod	-	>	-	+/- 0,5 mm	Zaštitni gas	-

LASERSKO BU[ENJE



LASERSKO BUŠENJE

Lasersko bušenje je skup proces i industrijski je opravdan samo za bušenje malih rupa u tvrdim i abrazivnim materijalima gde je teško primeniti konvencionalne metode ili u tankim i mekim materijalima gde rupe ne mogu biti precizno izbušene. Mada je lasersko bušenje ostati skup proces za bušenje otvora ili rupa u metalima ono je uvek imati prednost u odnosu na ostale metode kod bušenja velikog broja malih rupa.

Laseri buše male rupe brzo, brže od bilo kog drugog postupka u tvrdom ili teško obradljivom materijalu. Nema kontakta alata i obradka tako da tanki i mekani materijali mogu biti izbušeni bez deformacija. Potreba za burgijama je eliminisana. Lasersko bušenje se može koristiti i za završnu obradu otvora prethodno izbušenih na konvencionalan način.

METODE LASERSKOG BU[ENJA

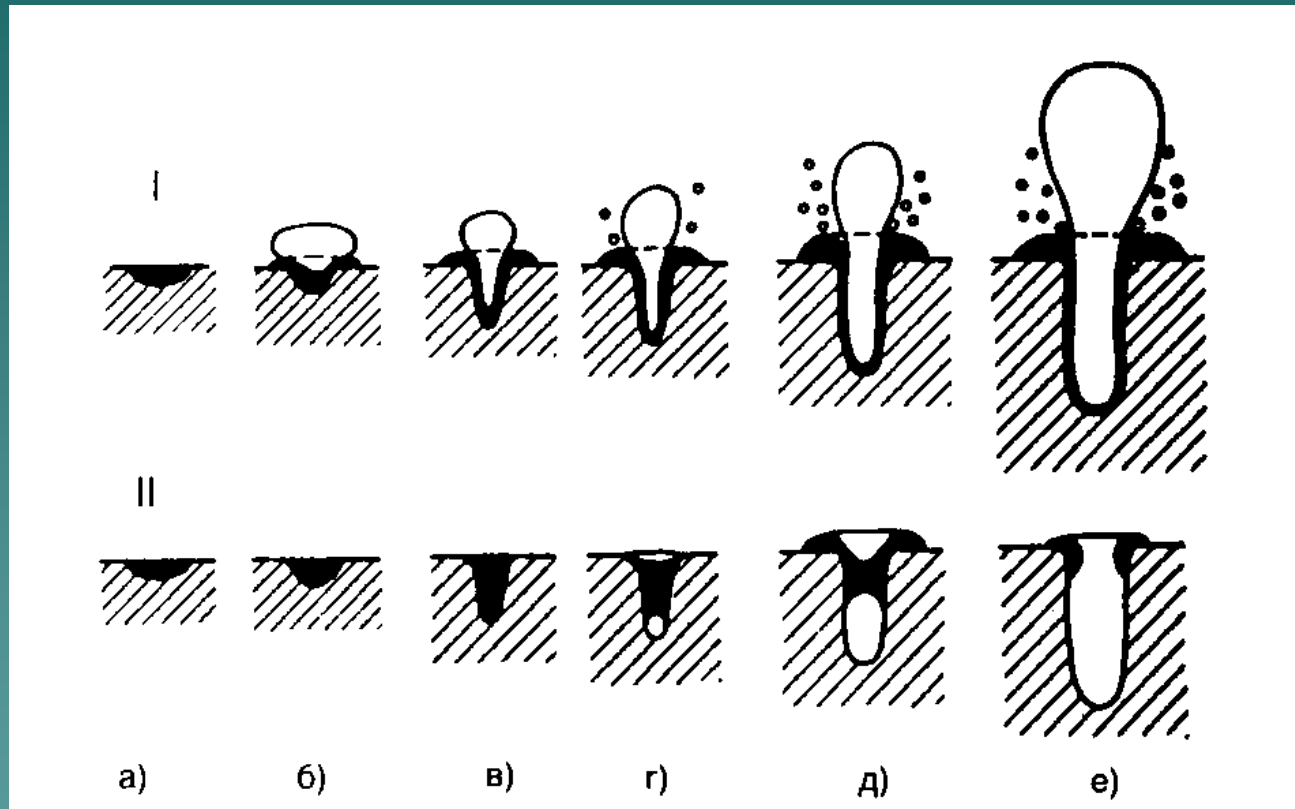
METOD LASERSKOG BU[ENJA	PRE^ NIK RUPE
Lasersko impulsno bu{enje	0,30-0,46 (mm)
Lasersko bu{enje rotacijom snopa laserskih zraka	0,45-2,50 (mm)
Lasersko bu{enje konturnim se~enjem	>2,50 (mm)

LASERSKO IMPULSNO BU[ENJE



Primenjuje se za bušenje velikog broja malih otvora u tvrdim materijalima i na predmetima složenog oblika.

LASERSKO IMPULSNO BU[ENJE



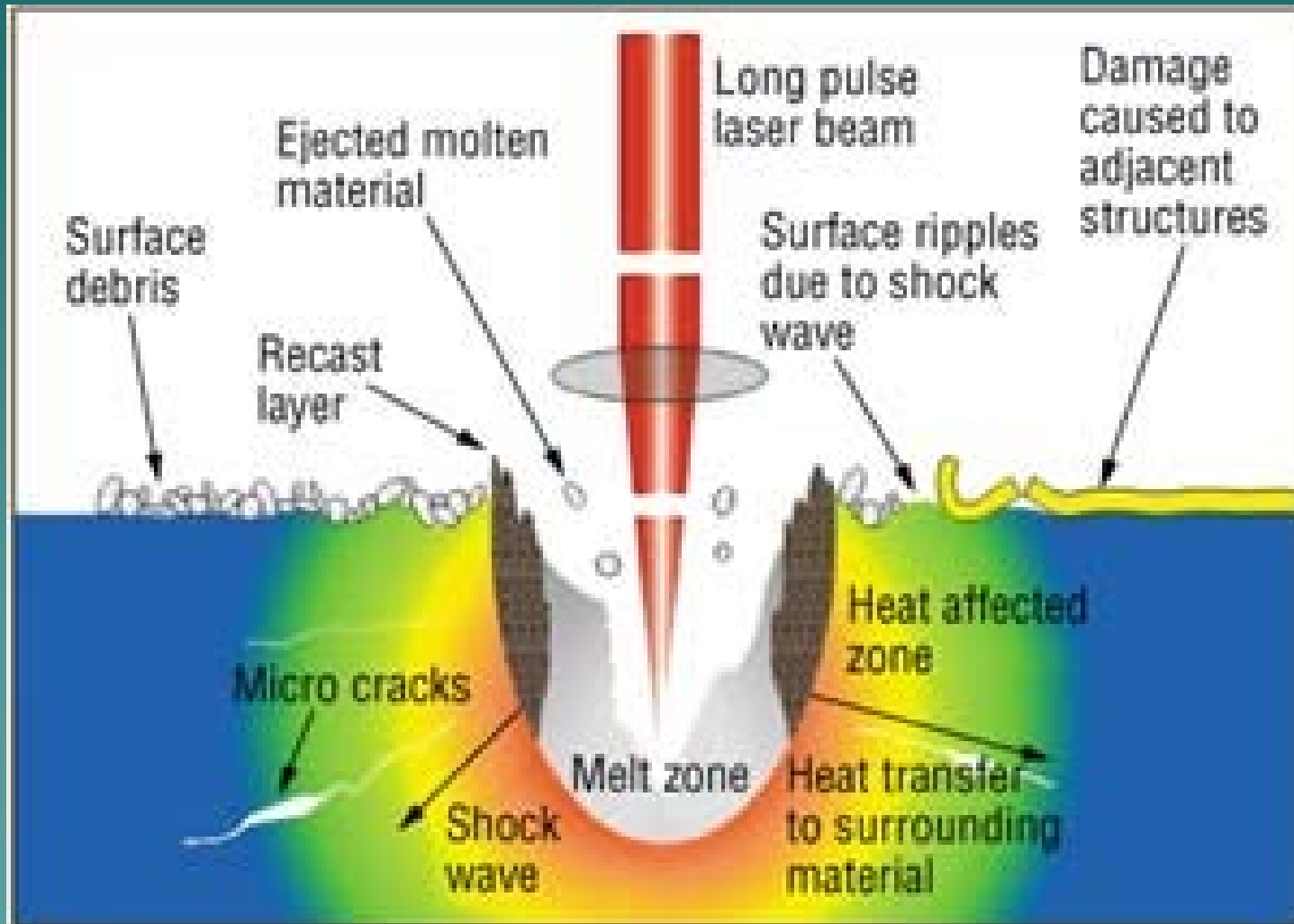
Proces stvaranja rupe u materijalu obratka pri dejstvu impulsa laserskog zra~enja

PRINCIP OBRADÉ

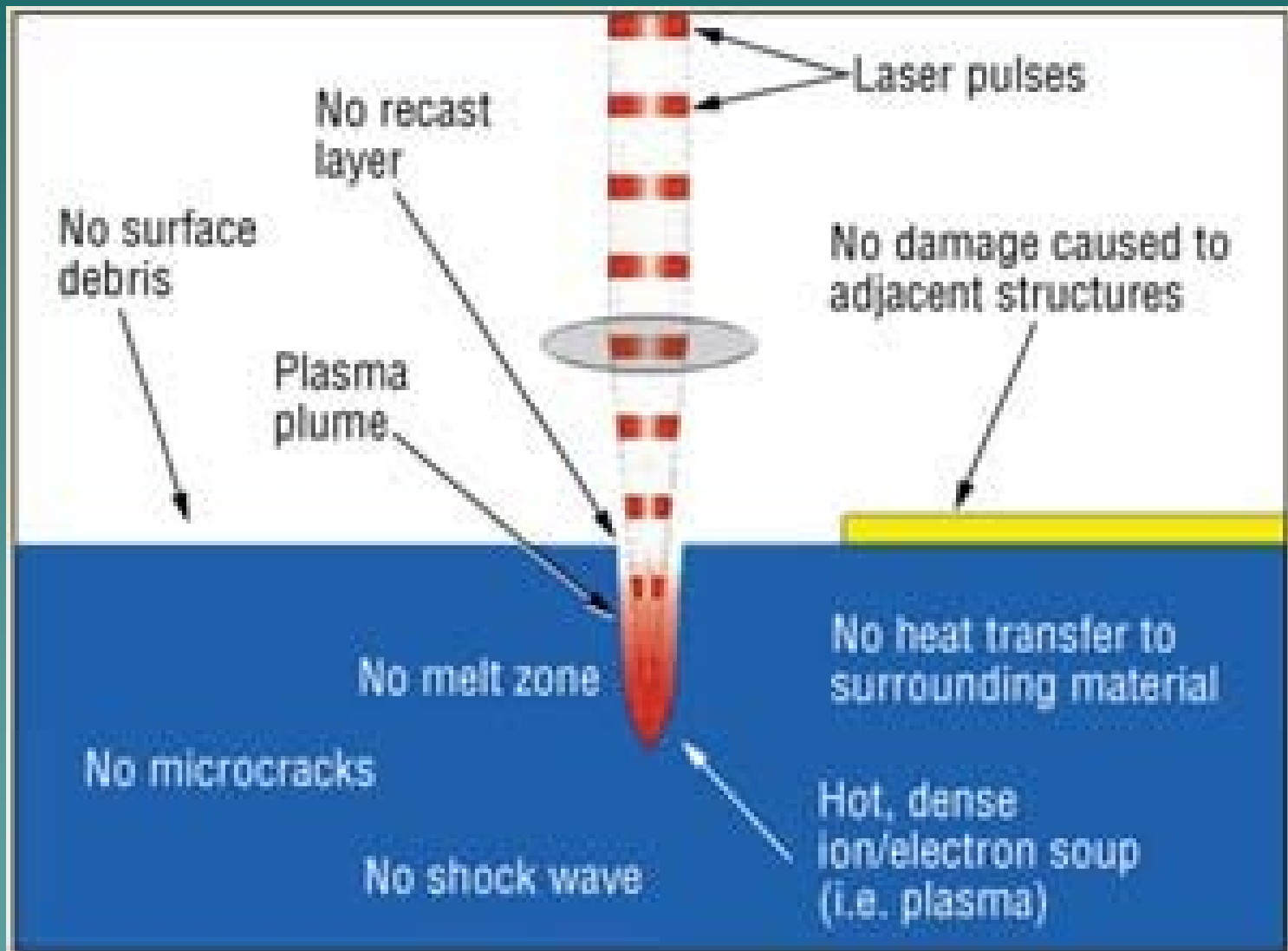
Dejstvo laserskog snopa na materijal predmeta obrade može se podeliti na nekoliko karakterističnih faza:

- apsorpcija laserskog zračenja u površinskom sloju materijala obradka i pretvaranje svetlosne energije u toplotnu;
- zagrevanje površinskog sloja materijala obradka na mestu dejstva laserskog snopa;
- topljenje i isparavanje materijala obradka na mestu dejstva laserskog snopa;
- uklanjanje produkata razaranja; i
- hladjenje materijala obradka po prestanku dejstva laserskog snopa.

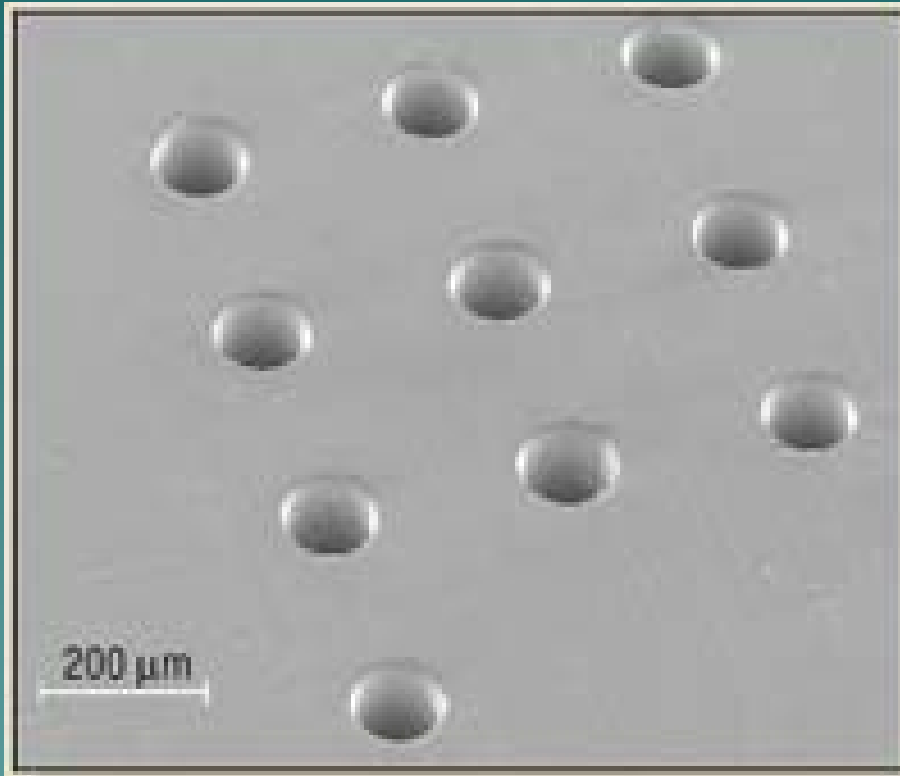
PRINCIP LASERSKOG BU[ENJA



INTERAKCIJA LASERSKIH IMPULSA SA POVR[INOM

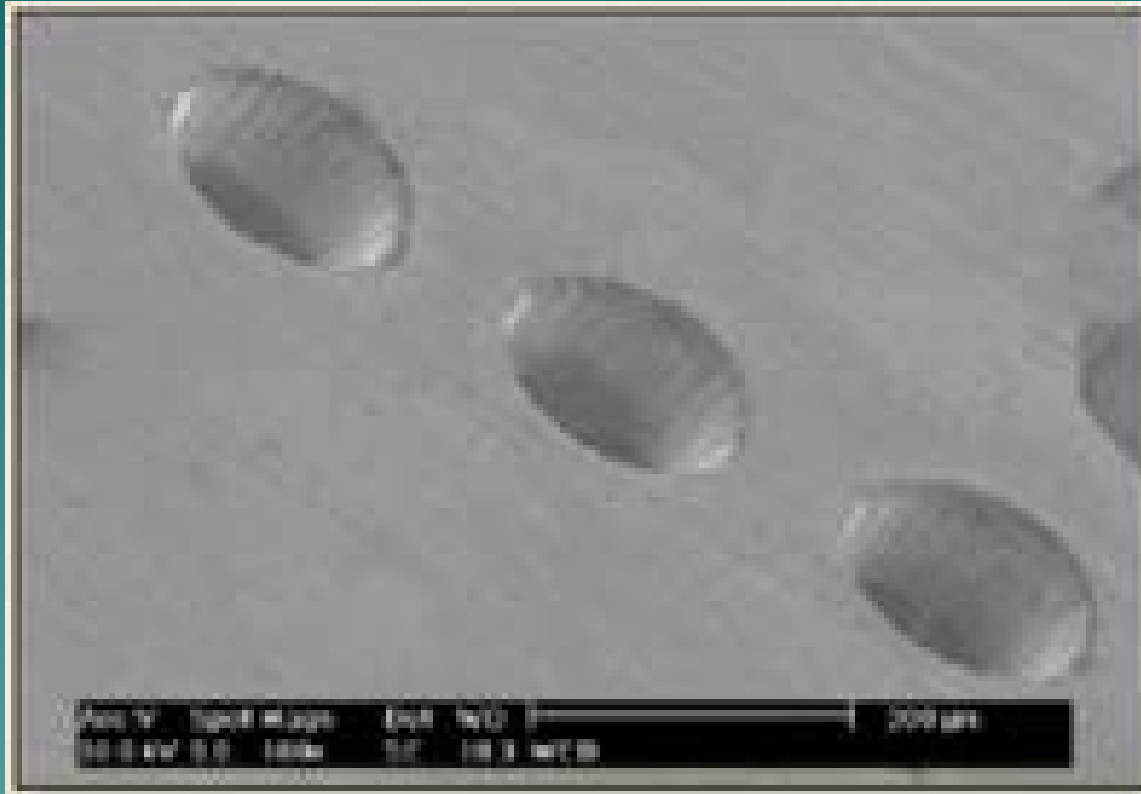


PRIMERI LASERSKOG BU[ENJA

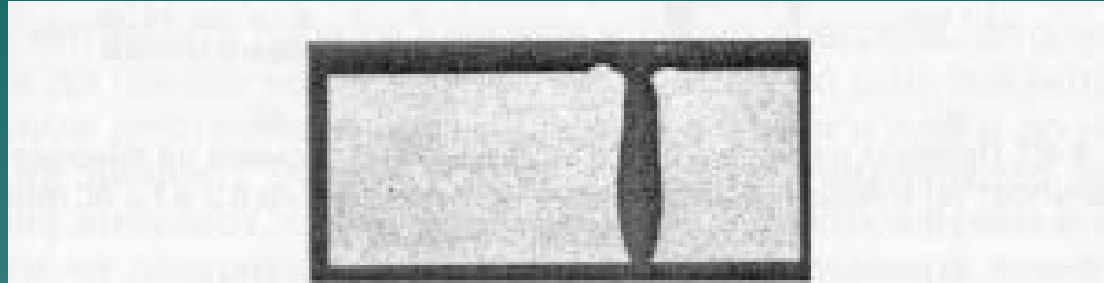


These 100- μm holes were trepanned in 0.55-mm stainless steel using a diode-pumped frequency-tripled Nd:YAG laser.

PRIMERI LASERSKOG BU[ENJA



These 160- μm holes drilled in ambient air on 100- μm -thick stainless steel with a femtosecond laser. No post processing of the sample was carried out.



Liveño `elezo debljine 5,6 mm bu{eno laserom

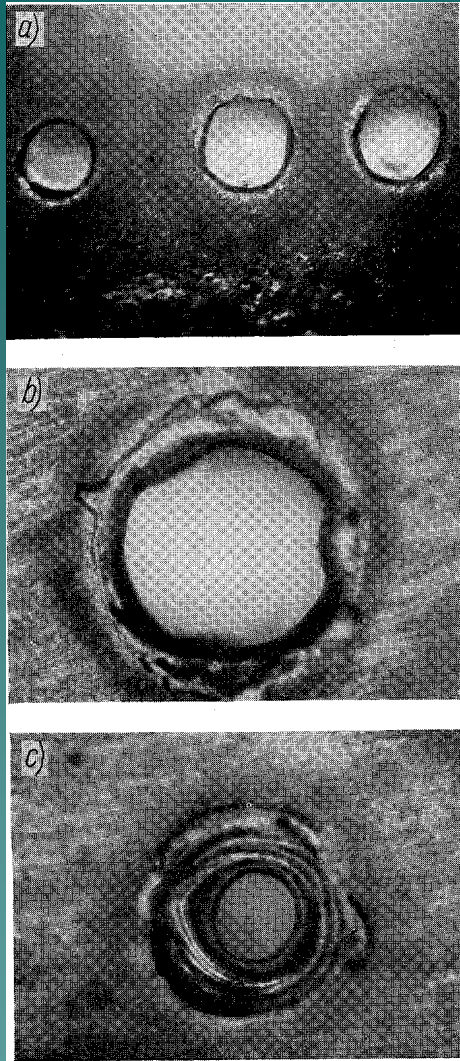


ULAZ

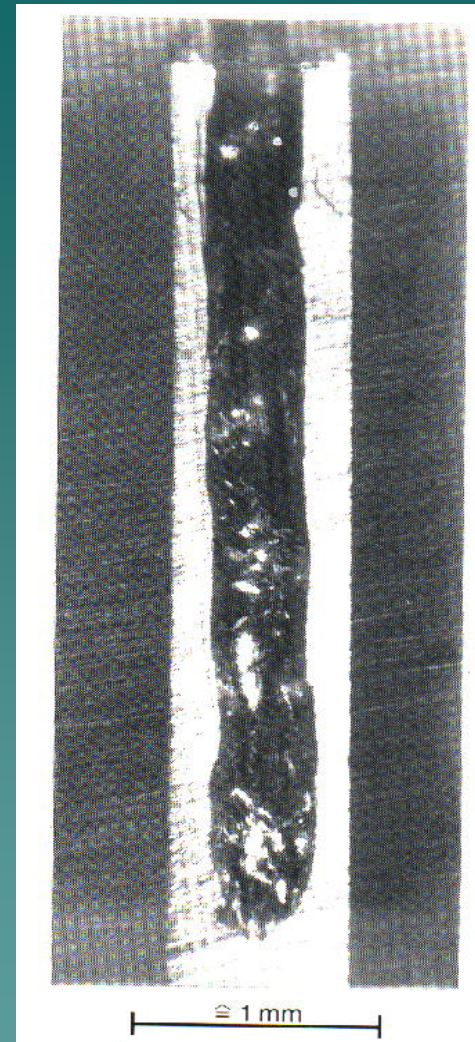
IZLAZ

Izgled ulazne i izlazne strane otvora bu{enog u ~eliku

PRIMERI LASERSKOG BU[ENJA

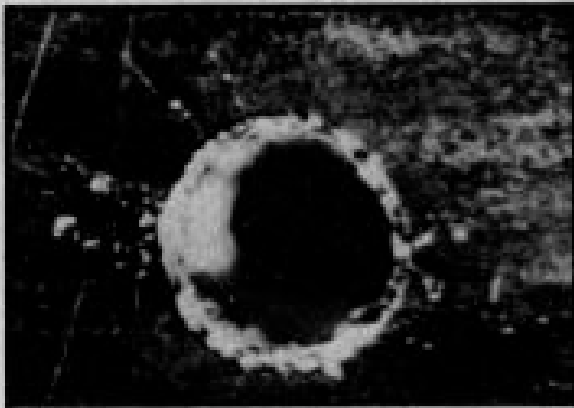


Rupe pre~nika od 80 do 200 μ m
u ~eli~nom limu debljine 0,5mm

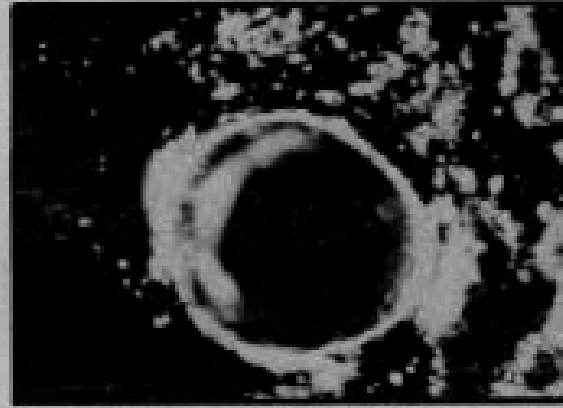


Popre~ni presek rupe u
~eliku

ALEXANDRITE

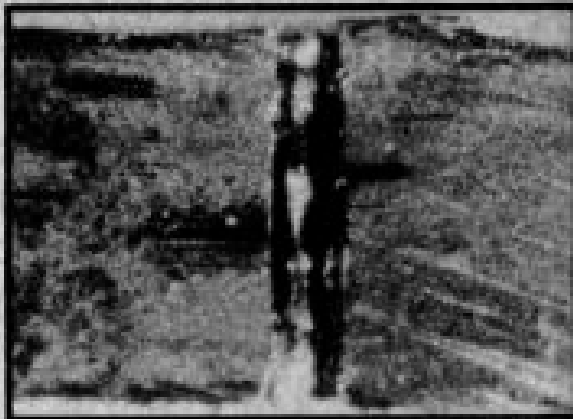


YAG

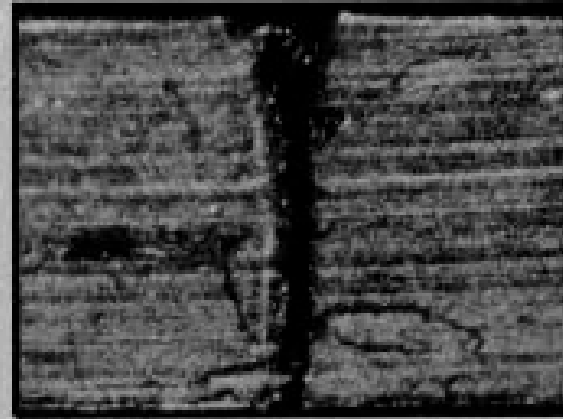


ALUMINUM 2024

ALEXANDRITE



YAG

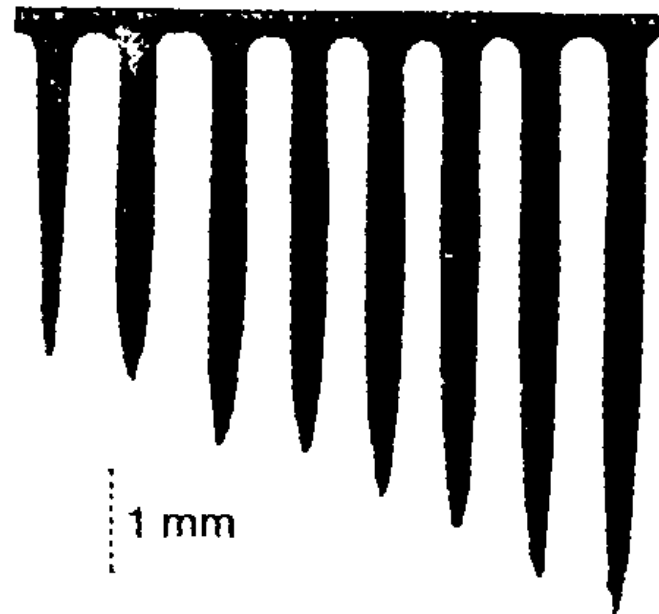
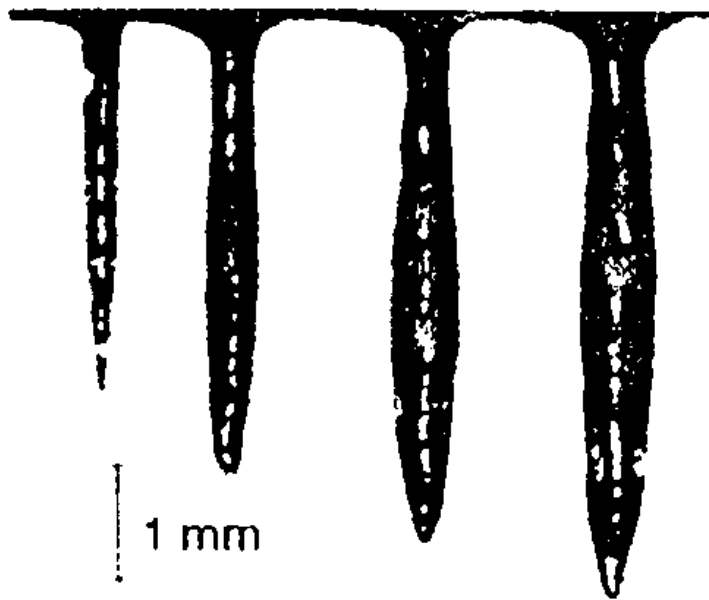


#304 STAINLESS STEEL

OBLIK I DUBINA RUPE U ZAVISNOSTI OD ENERGIJE IMPULSA I BROJA IMPULSA

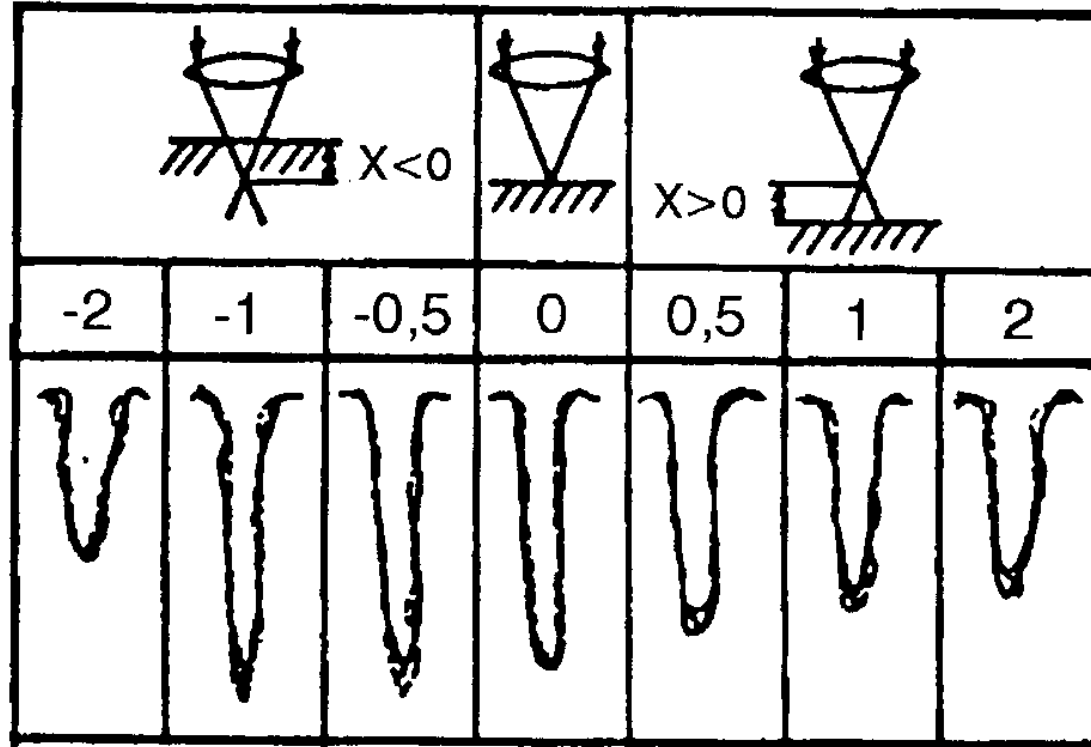
Енергија на импулсот

2,5 10 15 J 20



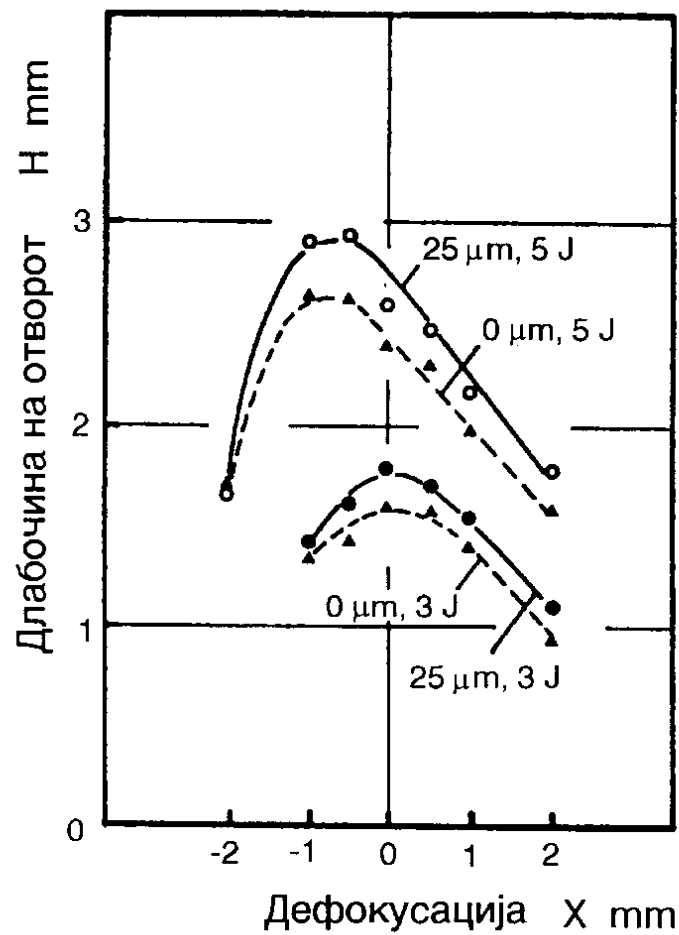
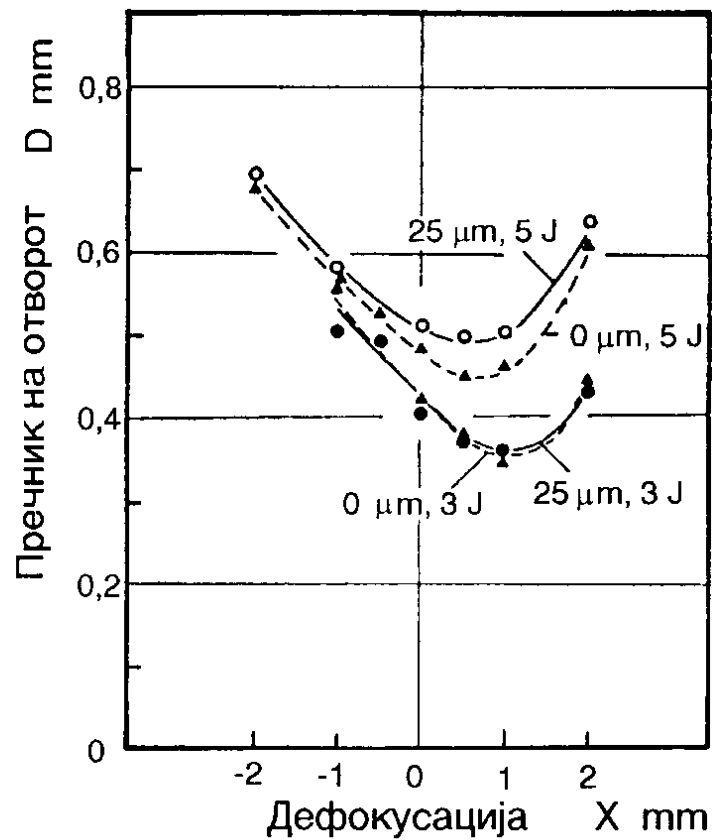
1 2 3 4 5 10 15 20
Број на репетирани импулси

UTICAJ DEFOKUSACIJE NA OBLIK I DIMEZIJE RUPE

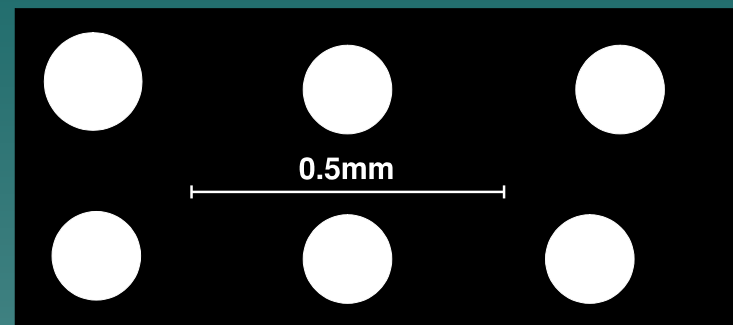
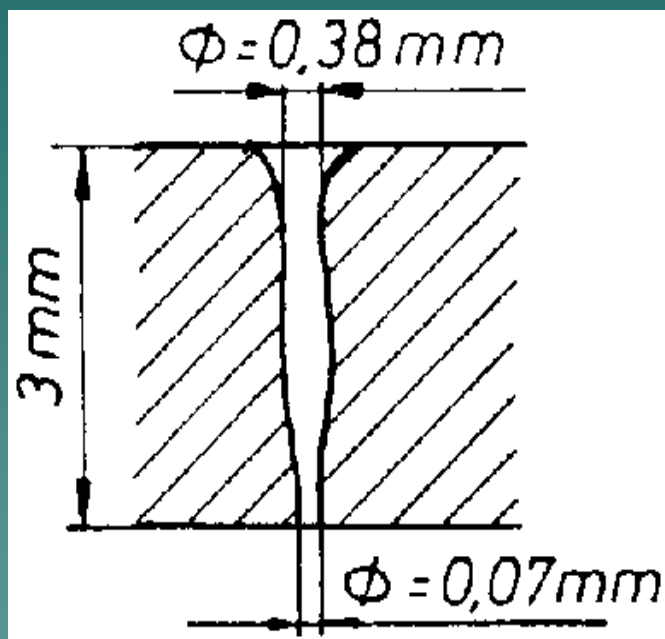


$f=14 \text{ mm}$, $t_p=1,5 \text{ ms}$, $E=1,6 \text{ J}$

PROMENA PRE^NIKA I DUBINE RUPE SA DEFOKUSACIJOM

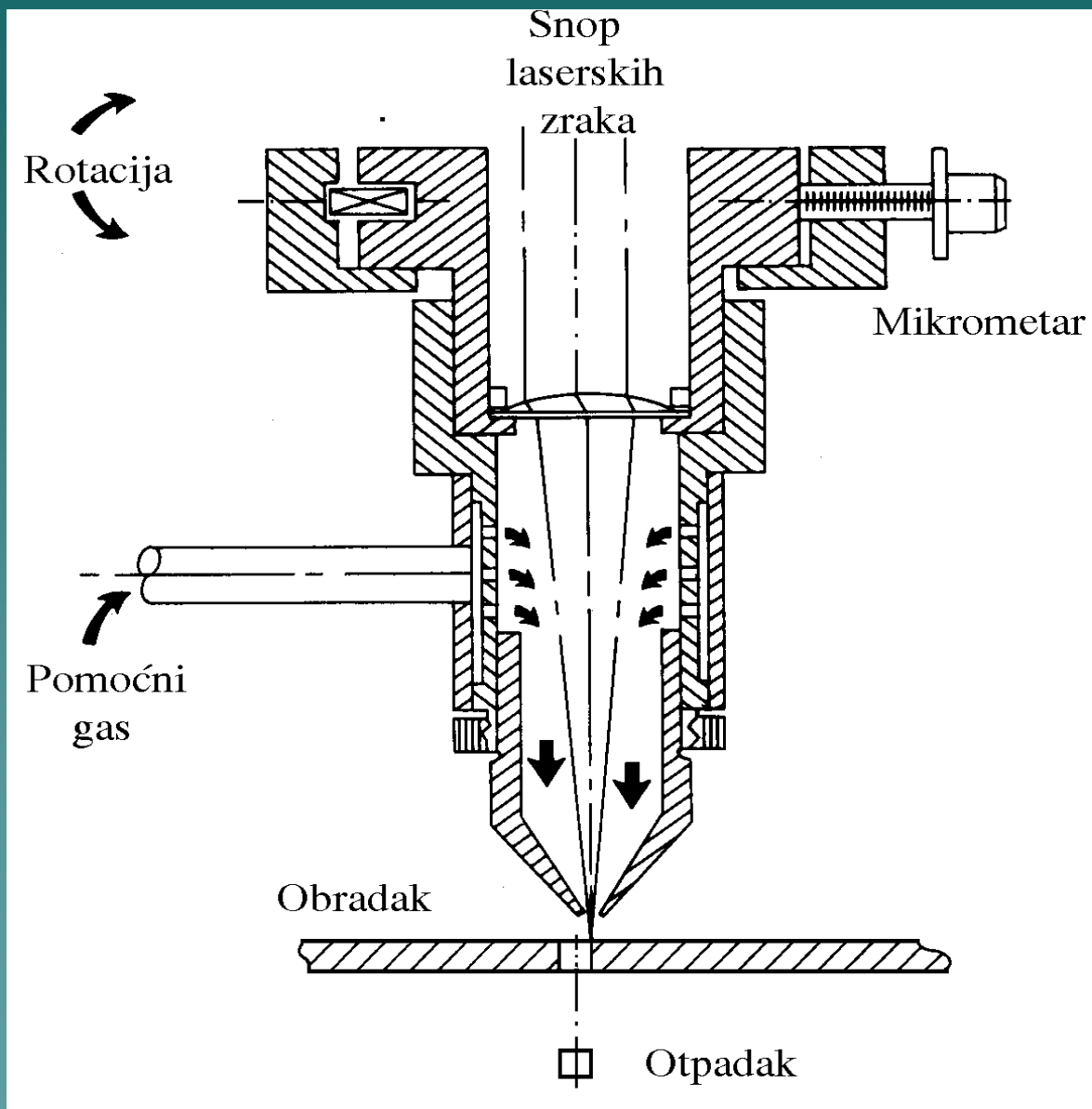


POPRE^NI PRESEK OTVORA U ^ELIKU
DOBIJEN LASERSKIM BU[ENJEM

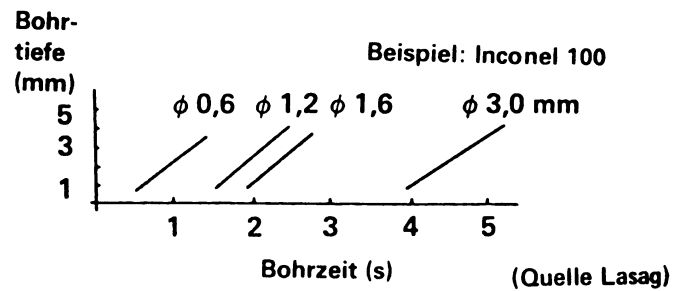
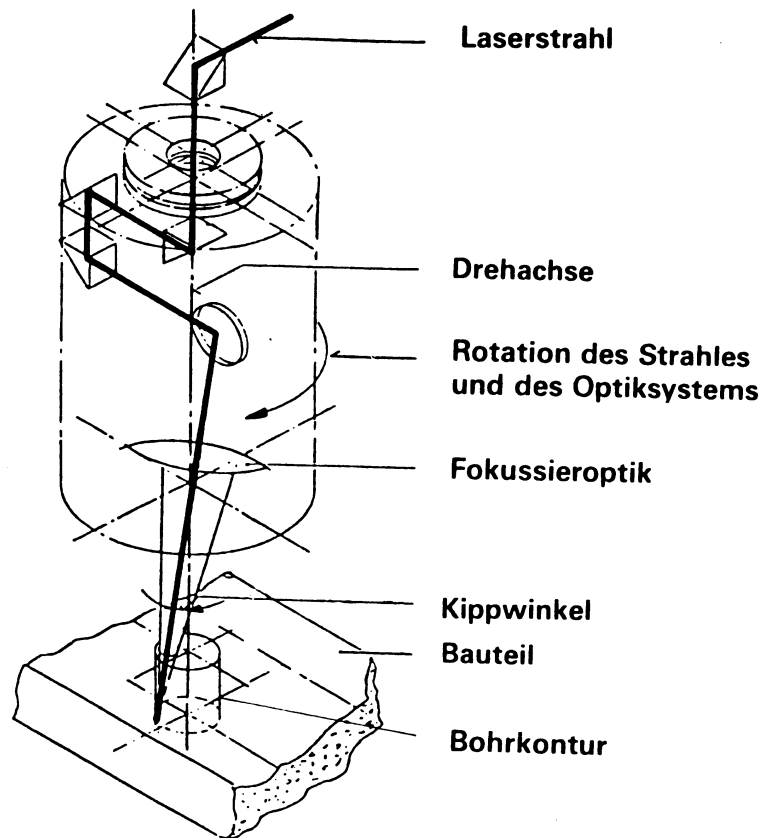


OTVORI U ^ELI^NOM LIMU
IZBU[ENI RUBINSKIM LASEROM

LASERSKO BU[ENJE ROTACIJOM LASERSKOG SNOPA POMOJU EKSCENTRA



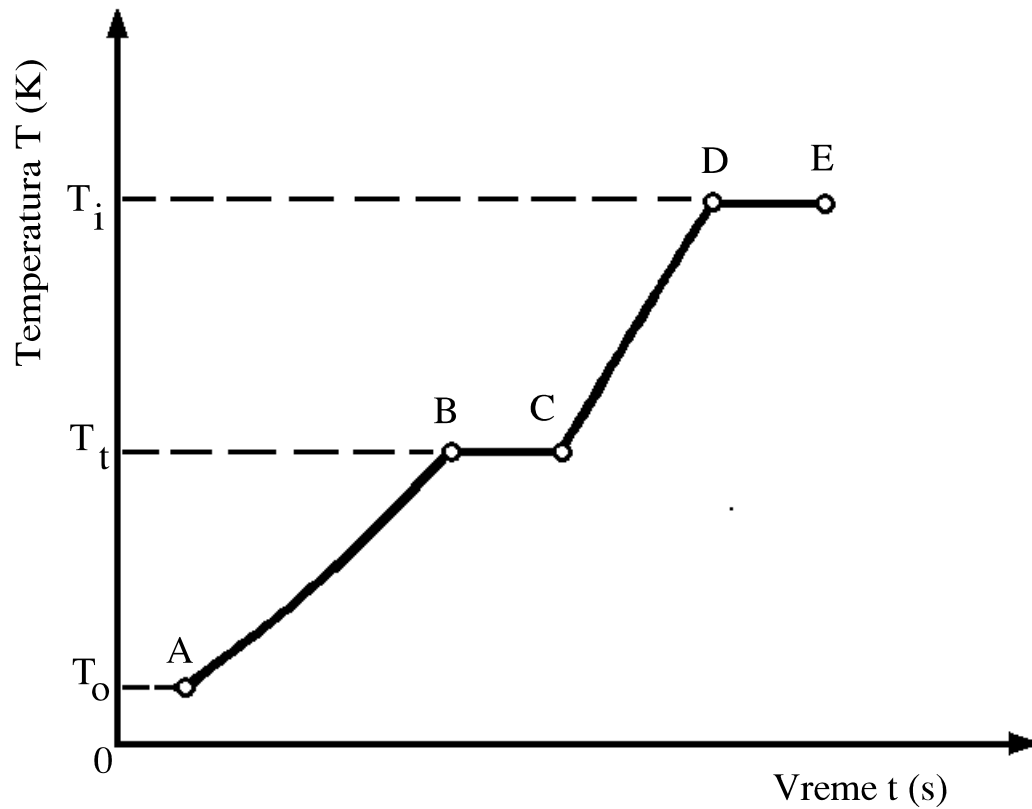
LASERSKO BU[ENJE ROTACIJOM LASERSKOG SNOPA ZAKRETANJEM SO²IVA



INDUSTRIJSKI PRIMENJENI LASERI ZA BU[ENJE

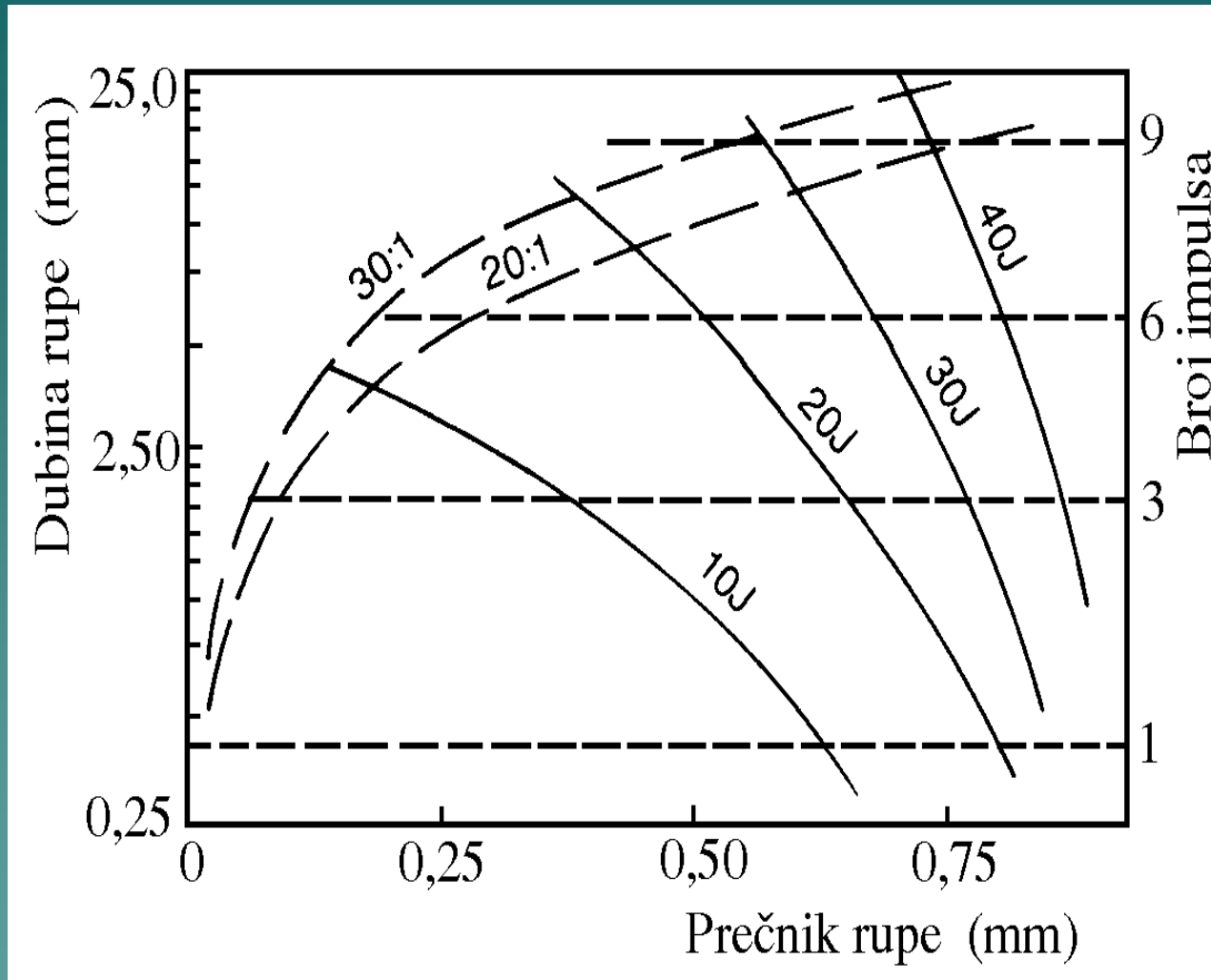
TIP LASERA	TALASNA DU@NA	SNAGA LASERA	ENERGIJA IMPULSA	TRAJANJE IMPULSA
Rubinski laser	0,694 (μm)	1-50 (MW)	0,1-300 (J) srednja 1-10 (J)	1-6 (ms) 20 (ps)-200 (ns)
Aleksandritski laser	0,7-0,82 (μm)	5-100 (W)	0,5-10 (J)	20 (ns)-200 (ms)
Nd:YAG laser	1,06 (μm)	1-50 (MW) srednja 150 (W)	≈ 10 (J) srednja 1,5 (J)	30 (ps)-3 (ms) 100 (Hz)
Nd:stakleni laser	1,06 (μm)	1-100 (MW)	1-10 (J)	4 (ps)-200 (ns)
CO ₂ -TEA laser	10,6 (μm)	1-10 ⁵ (W)	0,1-10 ³ (J)	10 ⁻¹ -10 ⁸ (ns)

KRIVA TRANSFORMACIJE TEMPERATURA-VREME ZA METAL



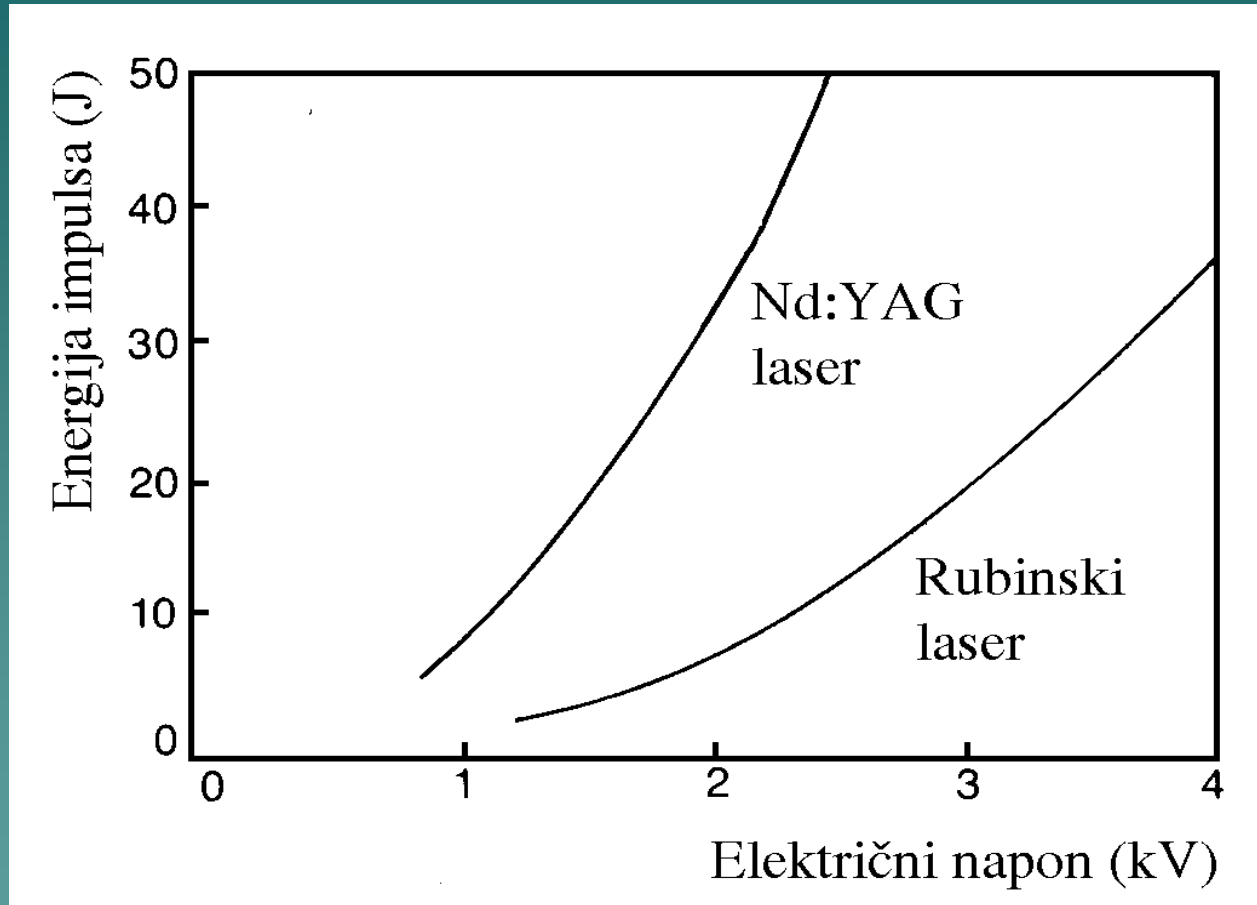
T_0 -temperatura okoline,
 T_t -temperatura topljenja,
 T_i -temperatura isparavanja

ODREDJIVANJE PARAMETARA OBRADE



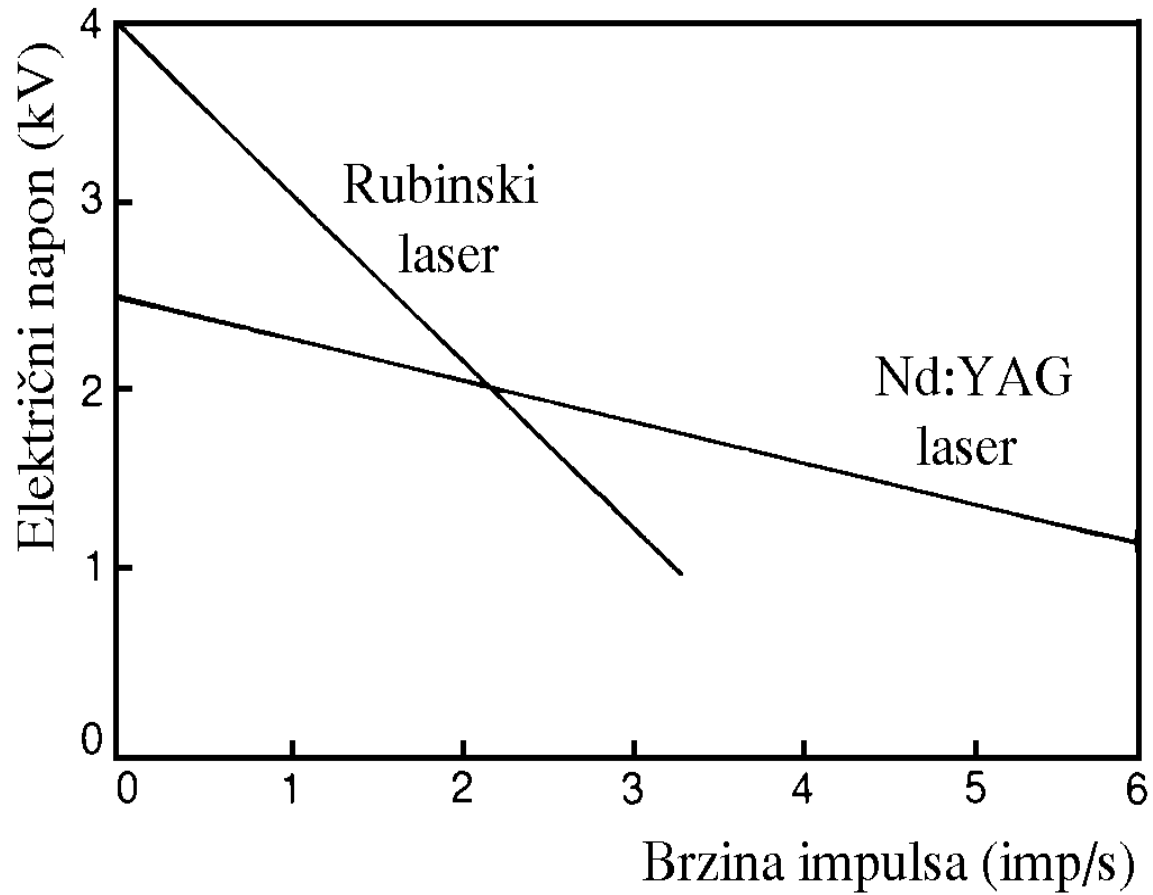
Zavisnost pre~nika rupe i dubine rupe od energije i broja impulsa

ODREDJIVANJE PARAMETARA OBRADE



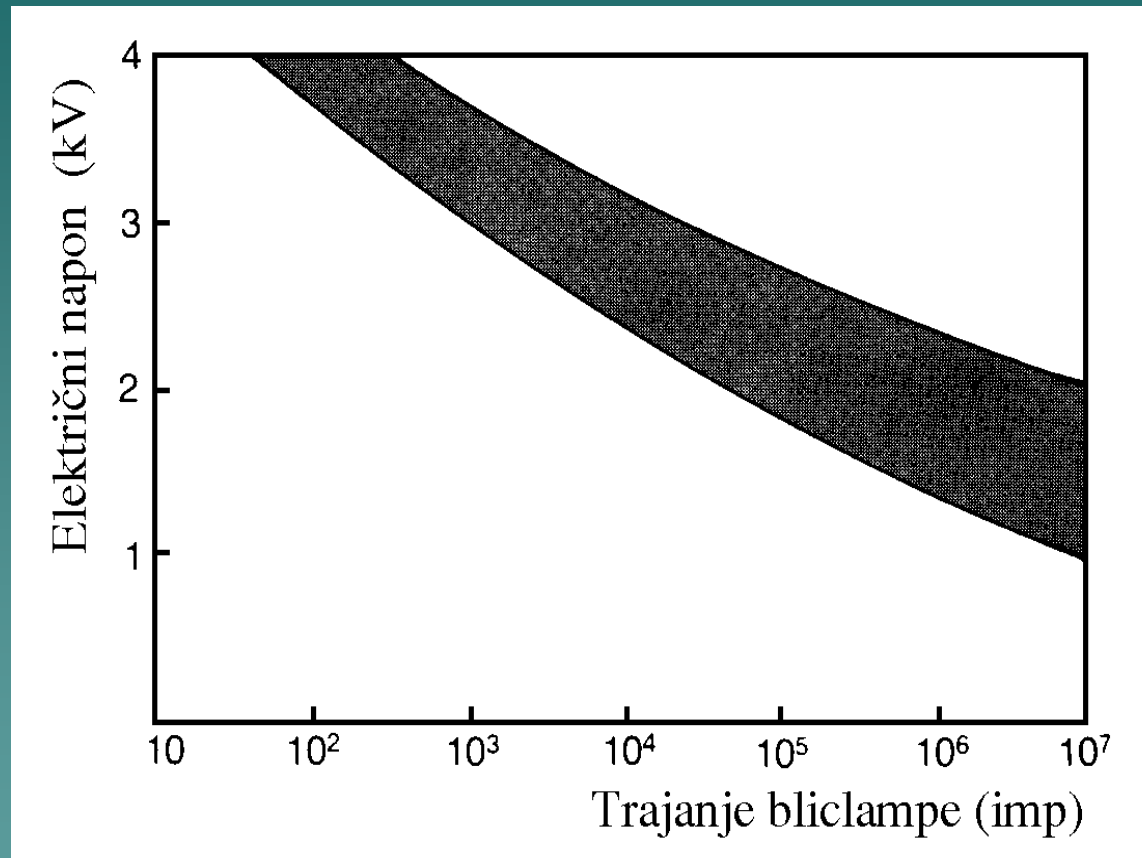
Zavisnost električnog napona od vrste lasera i energije impulsa

ODREDJIVANJE PARAMETARA OBRADE



Zavisnost brzine impulsa od elektri~nog napona i vrste lasera

ODREDJIVANJE PARAMETARA OBRADE



Zavisnost trajanja bliclampe od električnog napona

Типични параметри буџенја отовра са ~врстим laserom

Типични параметри на издупчени отвори со ласер со тврдо тело

Материјал	Параметри на отворот				Параметри на импулсите				Број на отвори во предметот	
	d mm	h mm	h/ d	Δ^* μm	E J	τ 10^{-4} s	q_c W/cm ²	n	e	s
Керамика	0,20	3,2	16	-	1,4	5	$4 \cdot 10^6$	40	x	x
	0,20	1,0	5	+30	1,6	10	$5 \cdot 10^6$	1	-	x
Ферит	0,20	1,0	5	± 4	0,3	1	$1,2 \cdot 10^7$	7	-	x
	0,05	1,0	20	-	0,05	0,9	$6 \cdot 10^7$	10	-	x
	0,10	0,7	7	± 15	1,5	10	$2 \cdot 10^7$	1	-	x
	0,10	0,5	5	± 5	0,2	0,9	$6 \cdot 10^7$	9	-	x
Не'рѓосу- вачки челик	0,05	1,2	24	-	0,2	0,9	$1,2 \cdot 10^8$	12	-	x
	0,05	0,1	2	± 2	0,2	0,8	$1,5 \cdot 10^8$	5	x	x
Рубин	0,01	0,4	40	-	0,1	Cl	-	-	x	-
Месинг	0,05	0,6	12	-	0,3	1	$5 \cdot 10^7$	3 ÷	-	x
								5		

Δ^* – отстапување од мерките, n – број последователни импулси

LASERSKO SE^ENJE



PRIMENA LASERSKOG SE^ENJA

Lasersko se~enje se koristi za kontruno se~enje dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih obradaka od lima. Industrijski primenjenim laserima seku se metalni limovi debljine do 12-15 mm. Lasersko se~enje se koristi za se~enje:

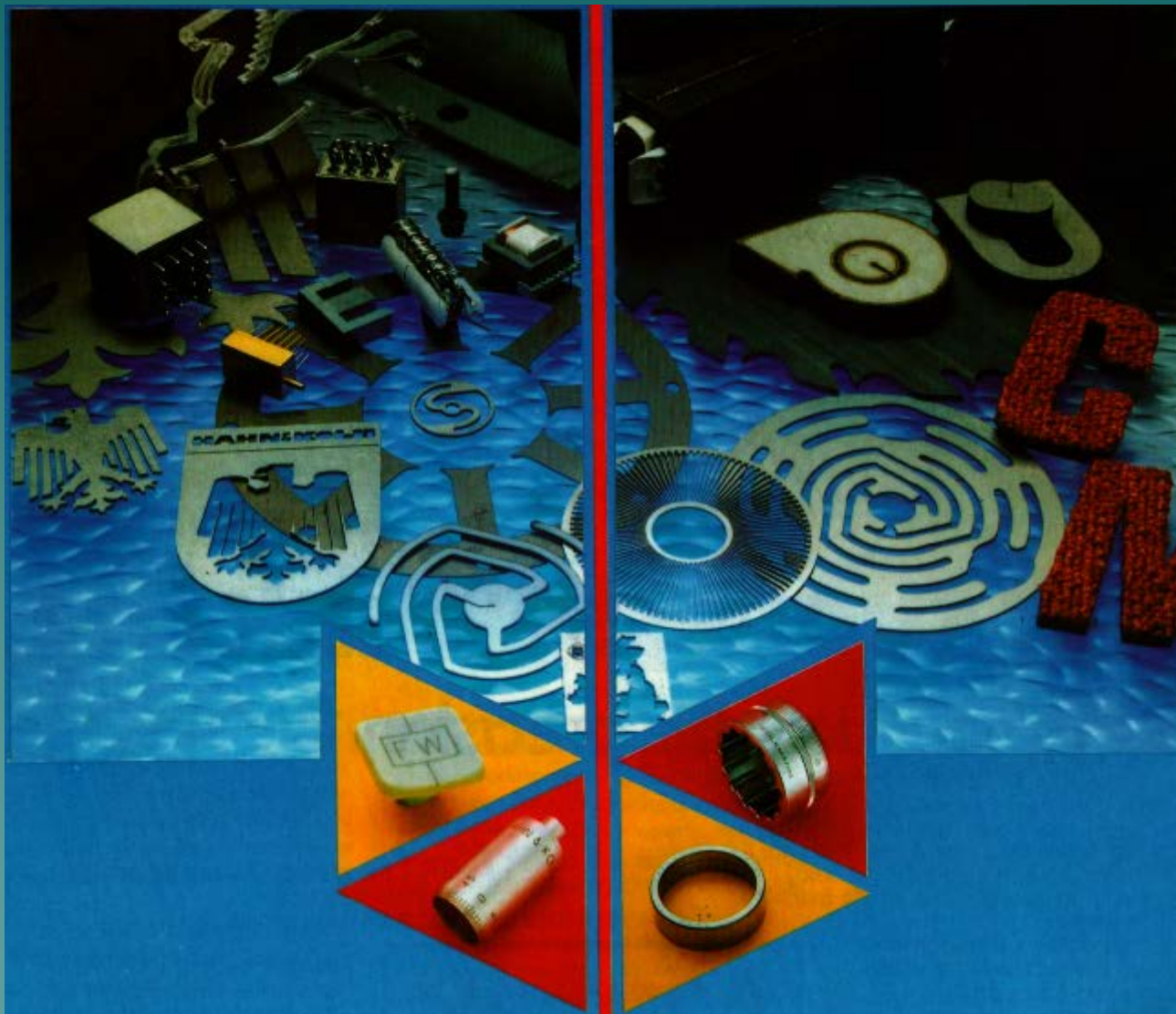
- metala

(ugljeni~ni ~elici, nerđaju}i ~elici, legirani ~elici, aluminijum, bakar, mesing, titan i dr.) i

- nemetala

(plasti~ne mase, guma, ko`a, tekstil, drvo, karton, papir, azbest, keramika, grafit i dr.).

PRIMENA LASERSKOG SE^ENJA



KONTURNO
SE^ENJE
2D PREDMETA

PRIMENA LASERSKOG SE^ENJA



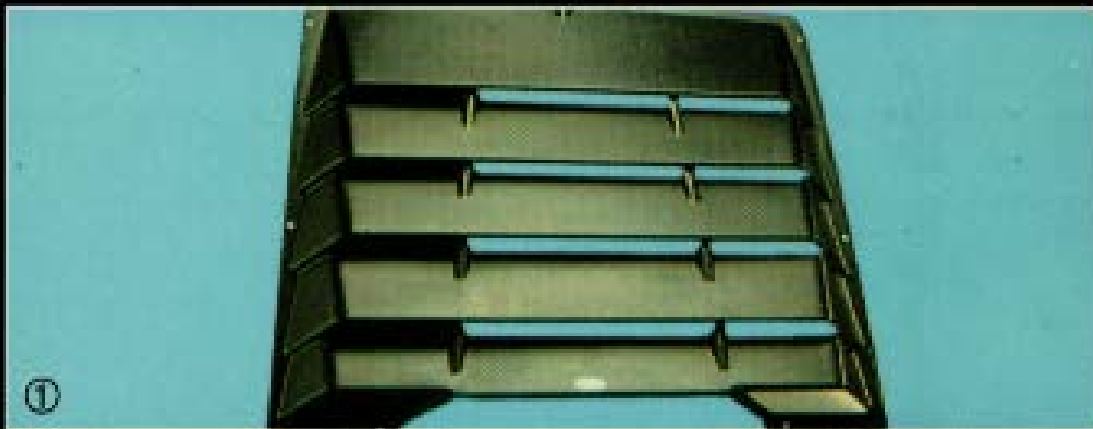
KONTURNO
SE^ENJE
2D PREDMETA

PRIMENA LASERSKOG SE^ENJA



KONTURNO SE^ENJE 3D PREDMETA

PRIMENA LASERSKOG SE^ENJA



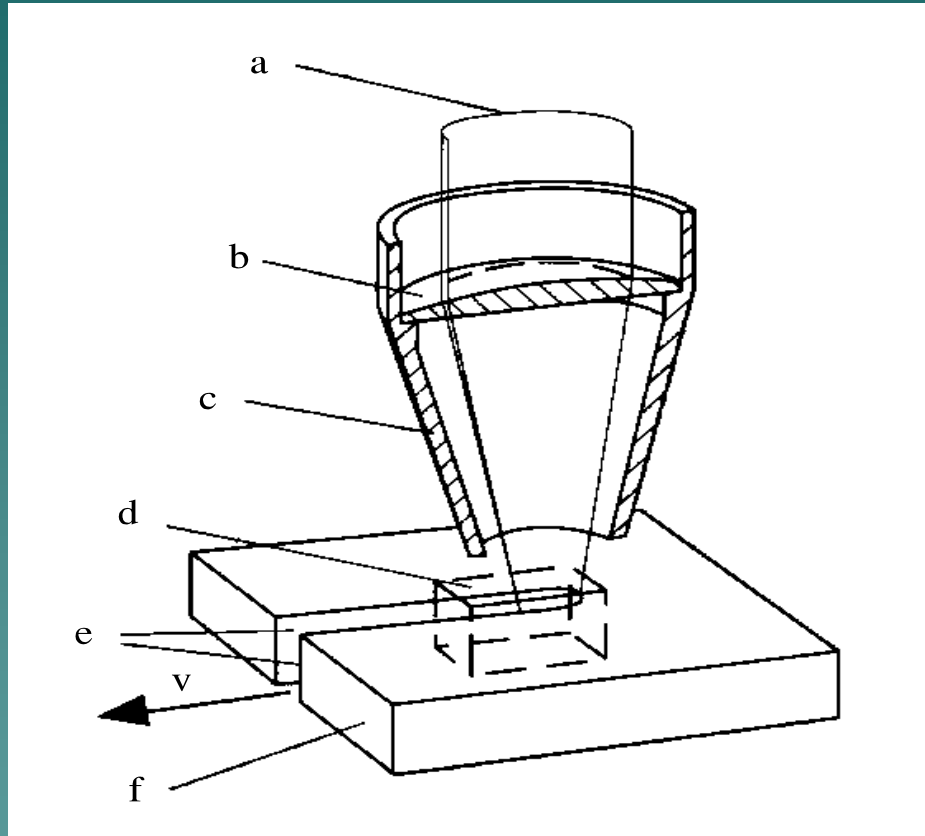
KONTRUNO SE^ENJE
PREDMETA OD PLASTIKE

PRIMENA LASERSKOG SE^ENJA



KONTURNO
SE^ENJE
PREDMETA
OD DRVETA

[EMA LASERSKOG SE^ENJA



- (a) laserski snop,
- (b) so~ivo,
- (c) mlaznica,
- (d) zona reza,
- (e) stranice reza,
- (f) obradak

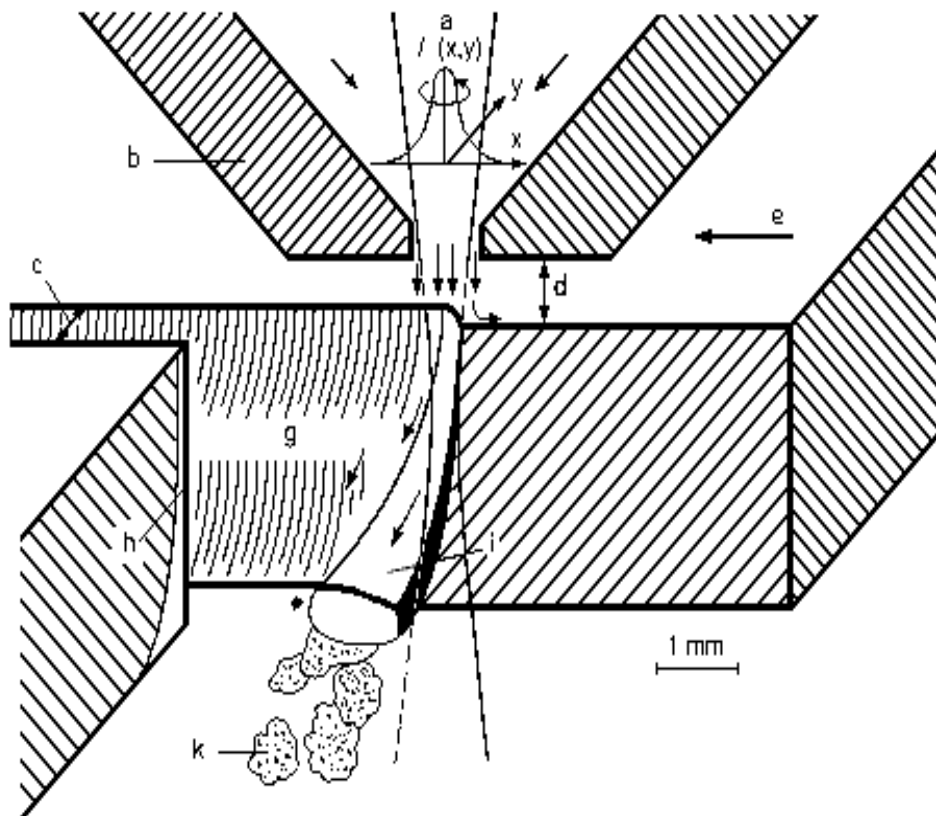
PRINCIP LASERSKOG SE^ENJA

Dejstvo laserskog snopa na materijal obradka karakteriše nekoliko faza:

- apsorpcija laserskog zra~enja u povr{inskom sloju materijala obradka i pretvaranje svetlosne energije u toplotnu,
- zagrevanje, topljenje i isparavanje materijala obradka na mestu dejstva snopa laserskih zraka,
- uklanjanje produkata razaranja i rastopine iz zone dejstva,
- hladjenje materijala radnog predmeta po prestanku dejstva laserskog snopa.

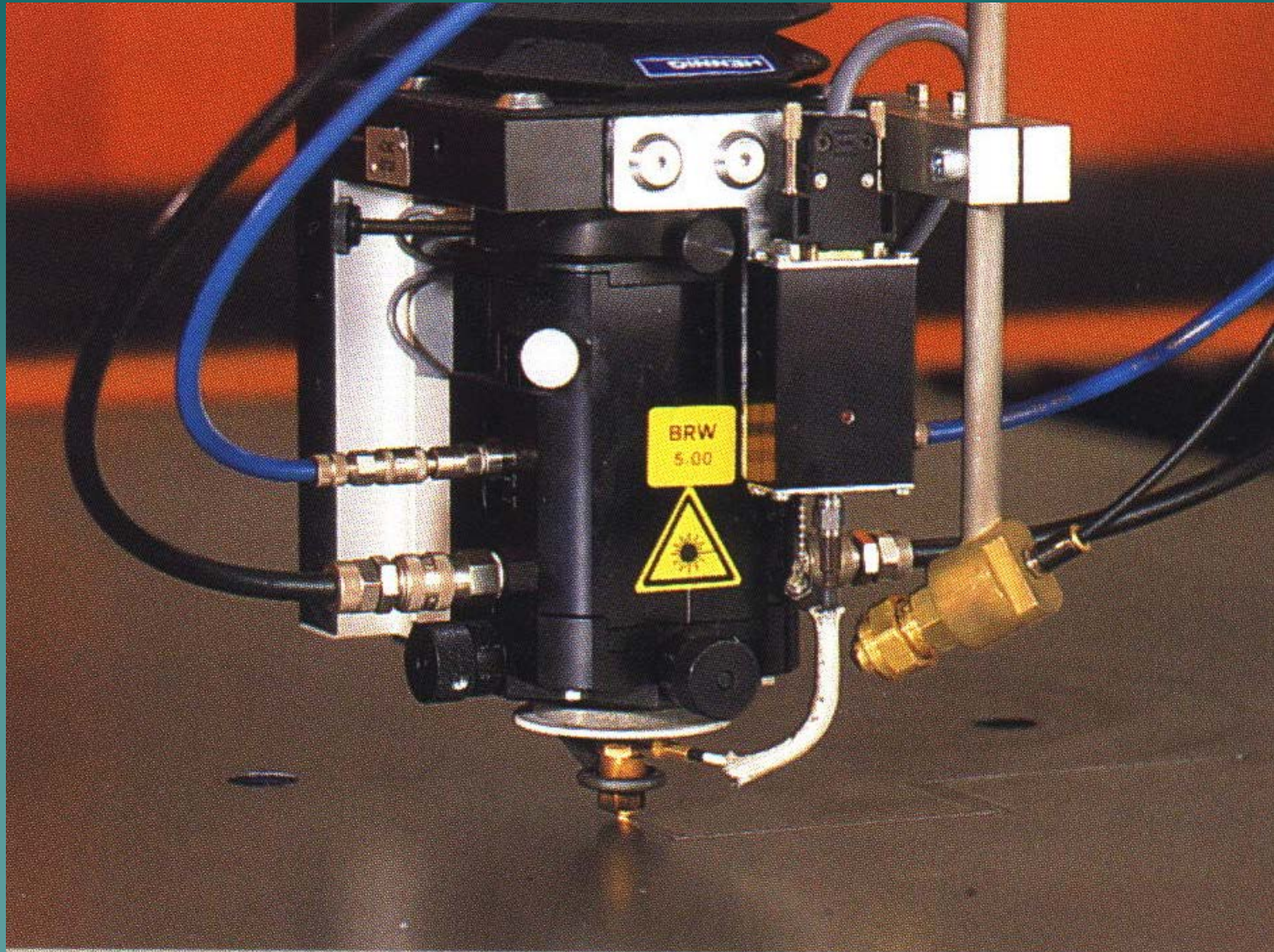
Kako je te`nja da se ispareni i rastopljeni materijal što pre odvede iz zone dejstva, lasersko se~enje se izvodi sa koaksijalnom strujom gasa za prodivavanje.

[EMATSKI PRIKAZ PROCESA LASERSKOG SE^ENJA



- (a) fokusirani snop laserskih zraka,
- (b) mlaznica,
- (c) {irina reza,
- (d) rastojanje mlaznice od povr{ine radnog predmeta,
- (e) brzina rezanja,
- (f) fokusirani snop laserskih zraka na mestu (x,y) ,
- (g) isticanje rastopine,
- (h) zona toplotnog uticaja,
- (i) rezni front,
- (k) ~estice rastopine.

PRIKAZ LASERSKOG SE^ENJA



METODE LASERSKOG SE^ENJA

Postoje tri metode laserskog se~enja:

1. lasersko se~enje sa potpunim odstranjivanjem materijala du` linije razdvajanja:

- isparavanjem;

- topljenjem i ograni~enim isparavanjem:

 - * sa autonomnim udaljavanjem materijala iz zone se~enja;

 - * sa udaljavanjem materijala iz zone se~enja uz pomo} mlaza pomo}nog gasa koji ima i erodivna svojstva:

 - reaktivnog gasa (O_2);

 - neutralnog (N_2) ili inertnog (Ar) gasa;

2. lasersko se~enje sa delimi~nim odstranjivanjem materijala du` linije razdvajanja:

- isparavanjem materijala do odredjene dubine i naknadno odvajanje materijala mehani~kim dejstvom;

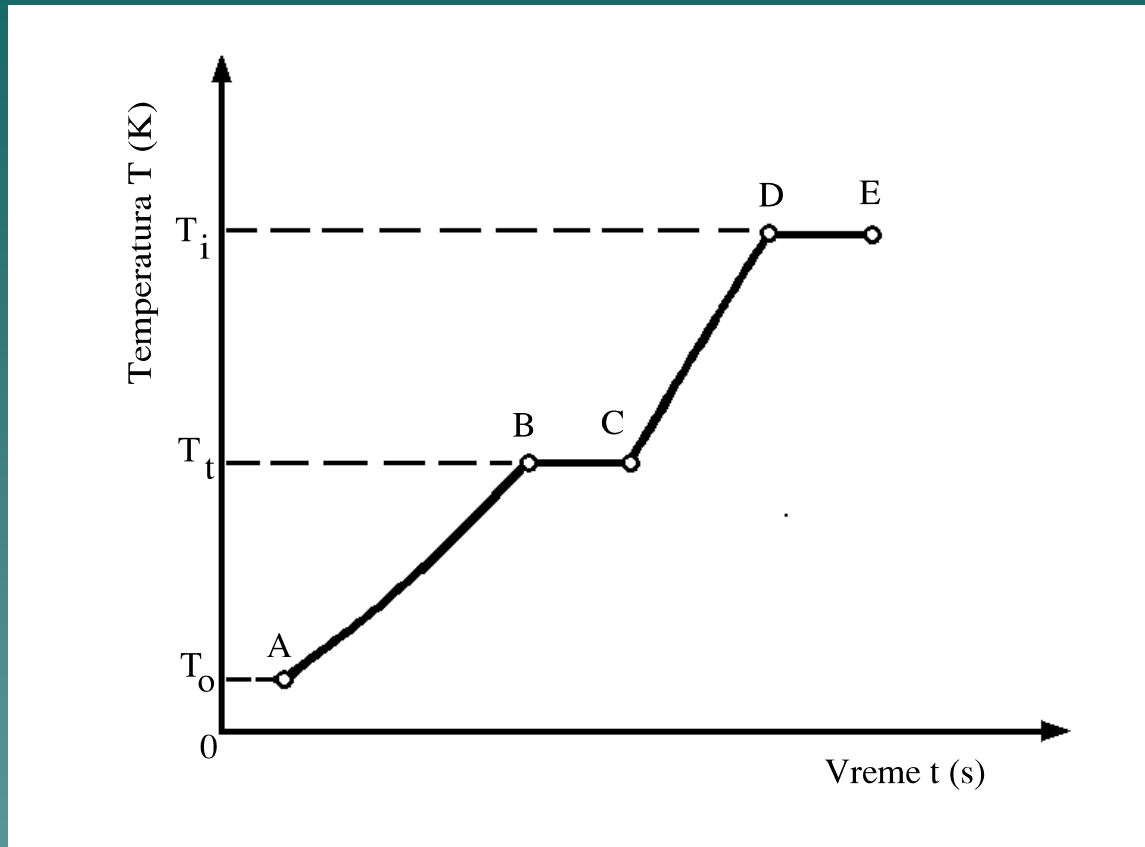
- isparavanjem materijala jedne vrste sa podloge materijala druge vrste;

3. lasersko se~enje bez odstranjivanja materijala du` linije razdvajanja:

- kontrolisanim lomljenjem u ~vrstom stanju, pod dejstvom i u toku laserskog zra~enja;

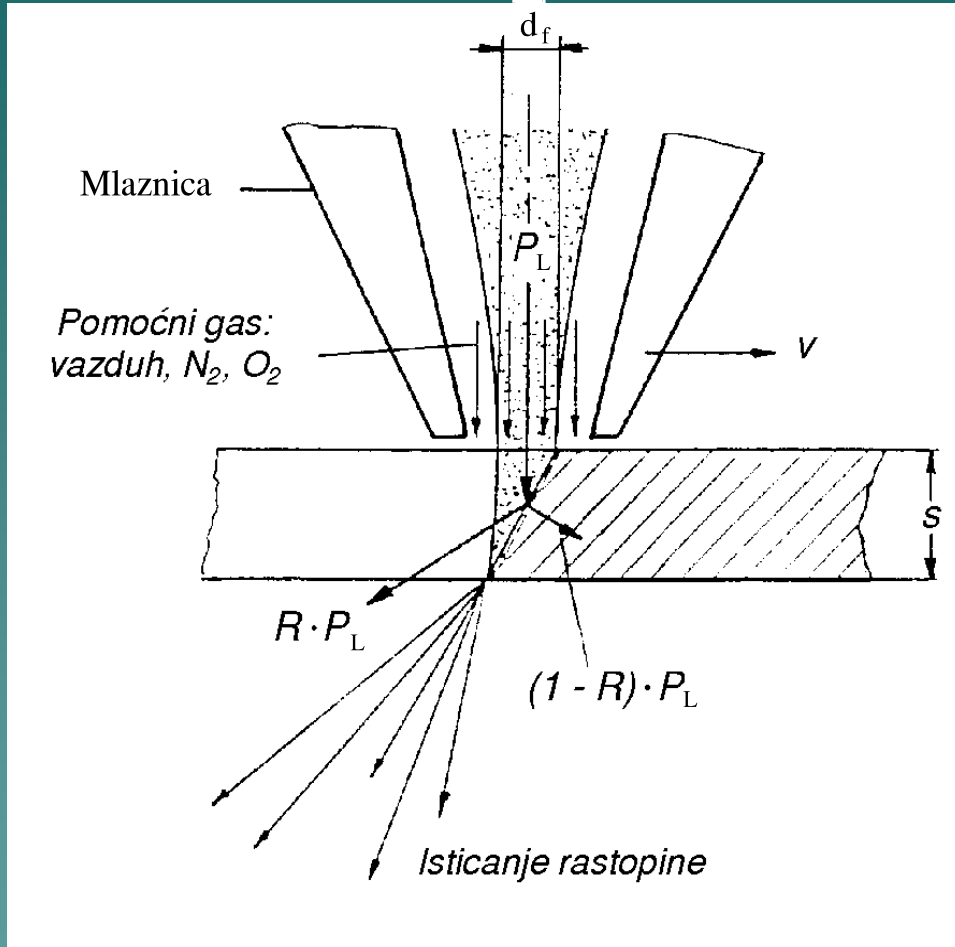
- kontrolisanim lomljenjem u ~vrstom stanju pod dejstvom mehani~ke sile, primenjenim posle dejstva laserskog zra~enja.

KRIVA TRANSFORMACIJE TEMPERATURA - VREME ZA METAL



T_0 -temperatura okoline
 T_t -temperatura topljenja,
 T_i -temperatura isparavanja.

BILANS SNAGE KOD LASERSKOG SE^ENJA



Bilans snage kod laserskog se^enja dat je izrazom:

$$P_L = P_R + P_O + P_P - P_S$$

P_L -snaga laserskog zra~enja,

P_R -snaga utro{ena na stvaranje rastopine,

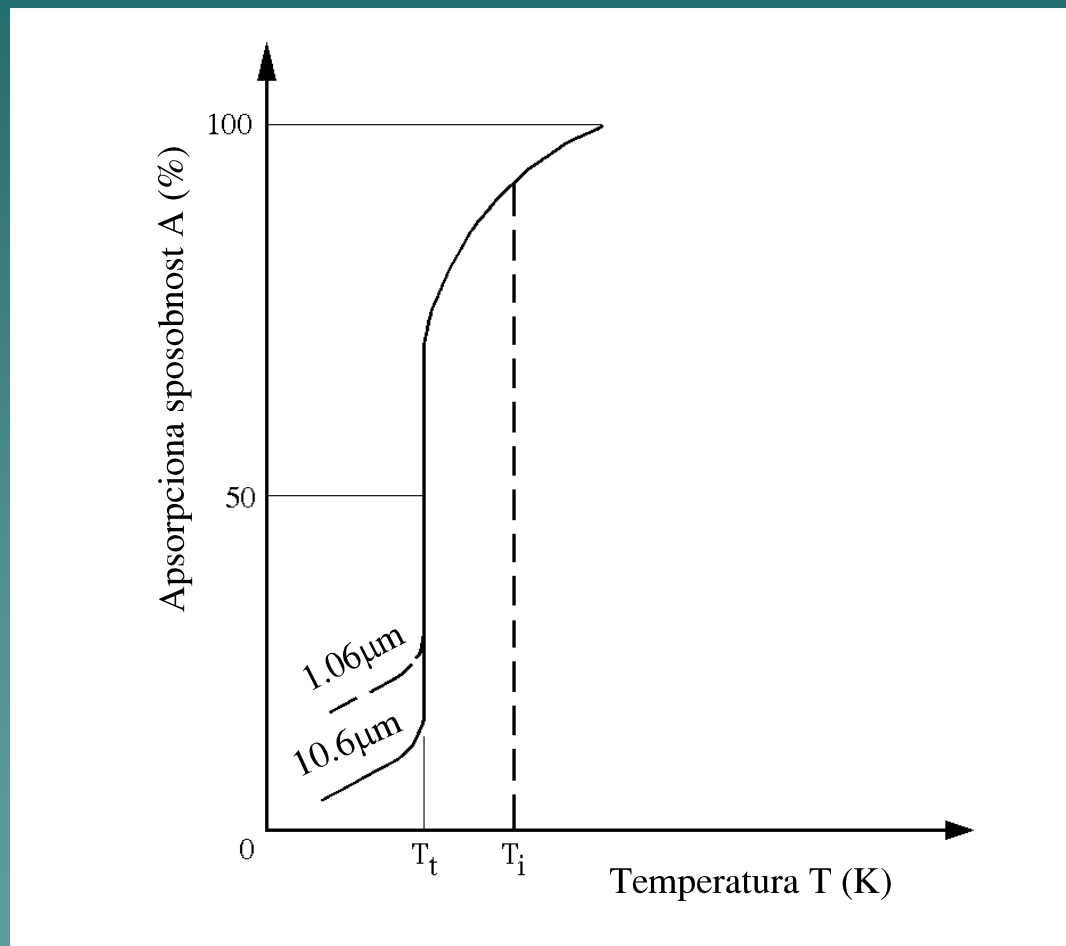
P_O -snaga odvedena preko rastopine i pomo{nog gasa,

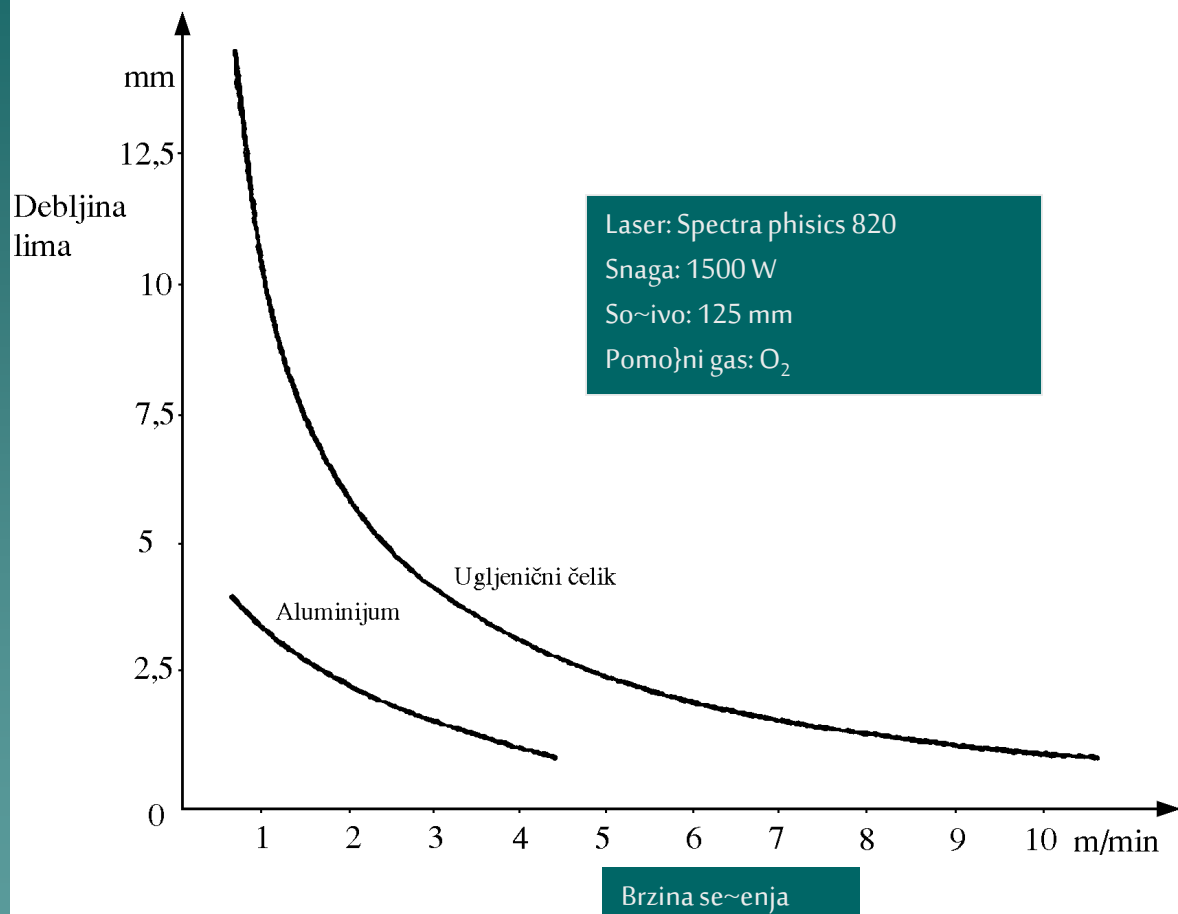
P_P -izgubljena snaga usled provodjenja kroz obradak,

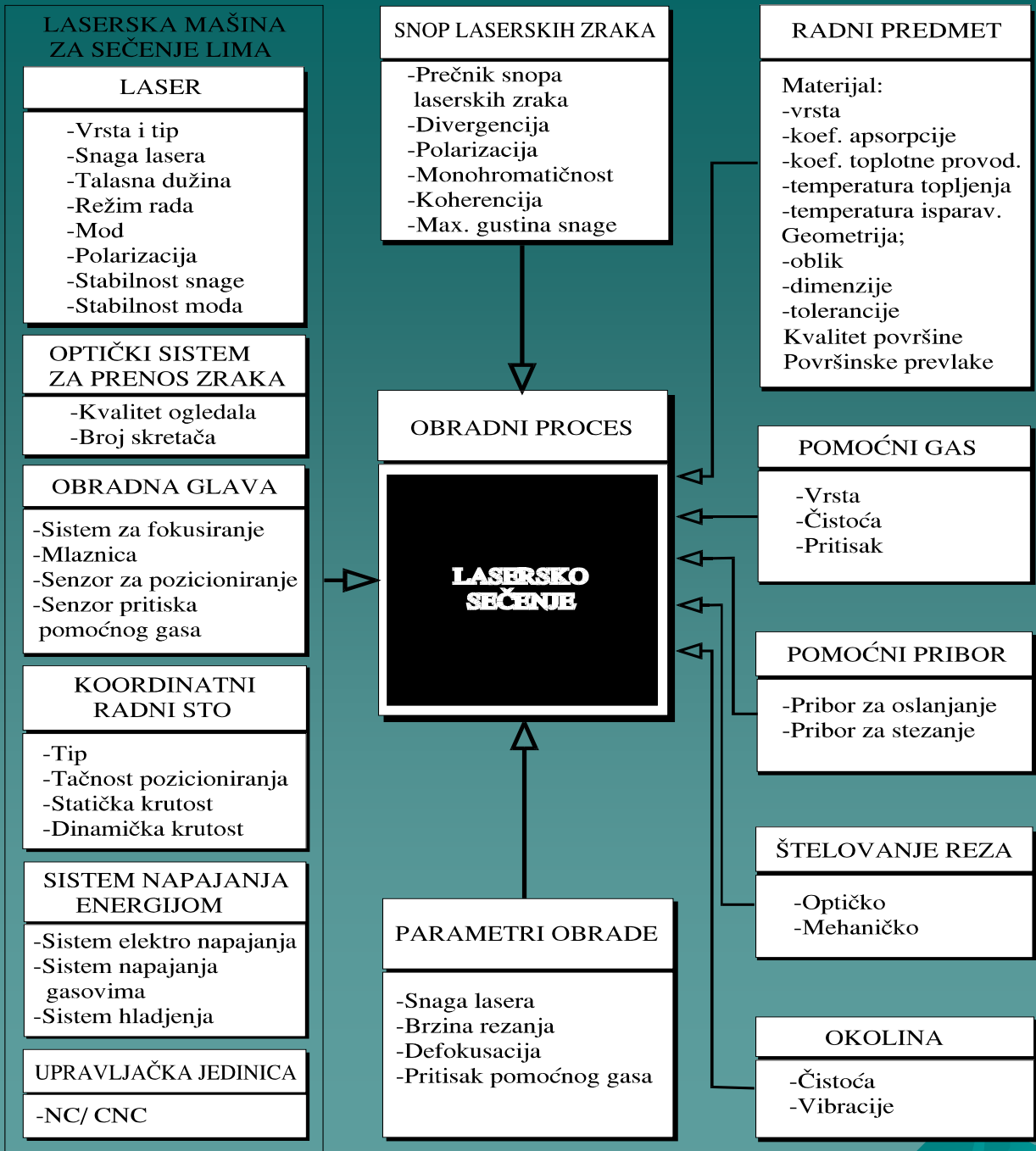
P_S -snaga dobijena egzotermnom reakcijom.

R-koeficijent refleksije

APSORPCIONA SPOSOBNOST ZA ^ELIK

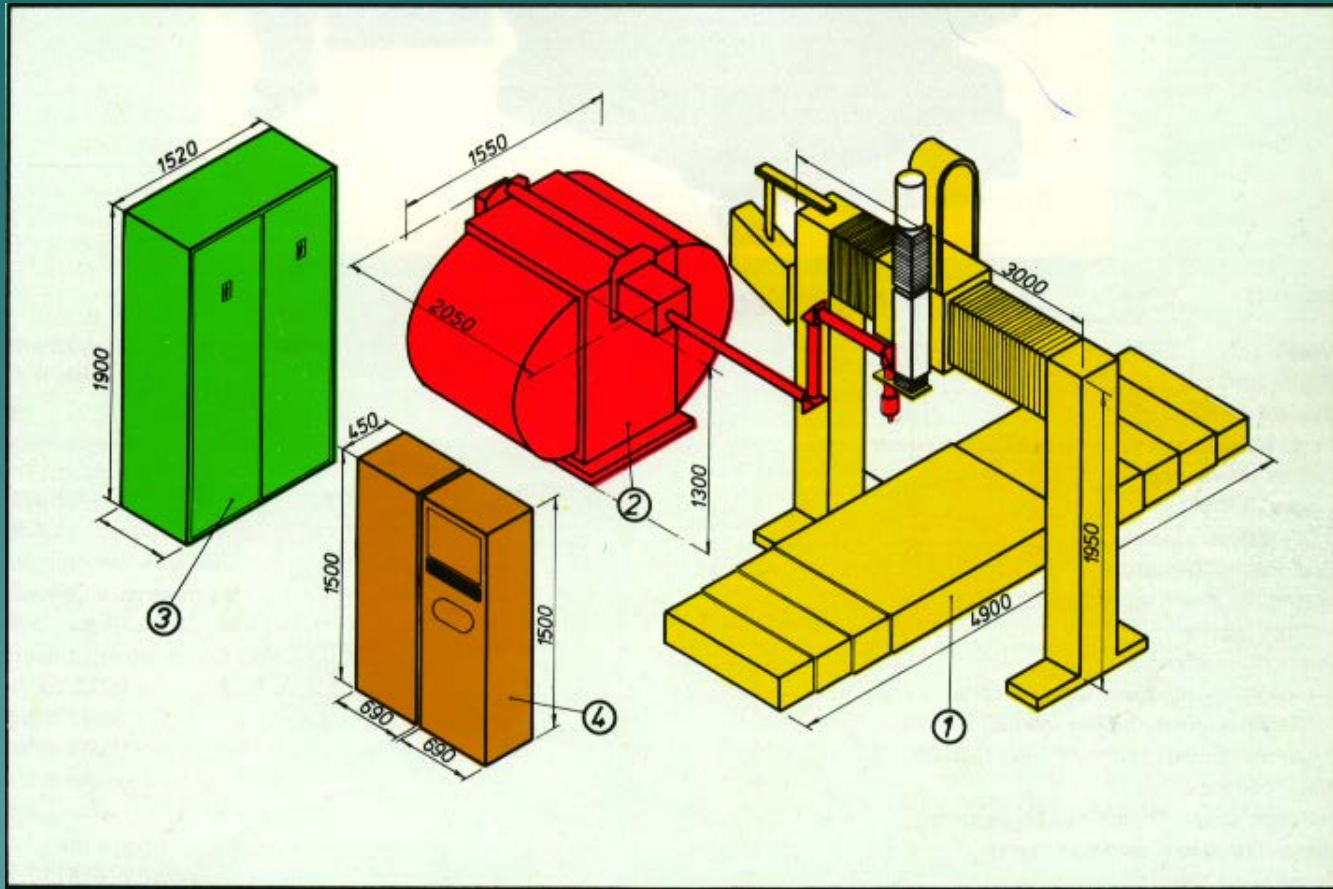






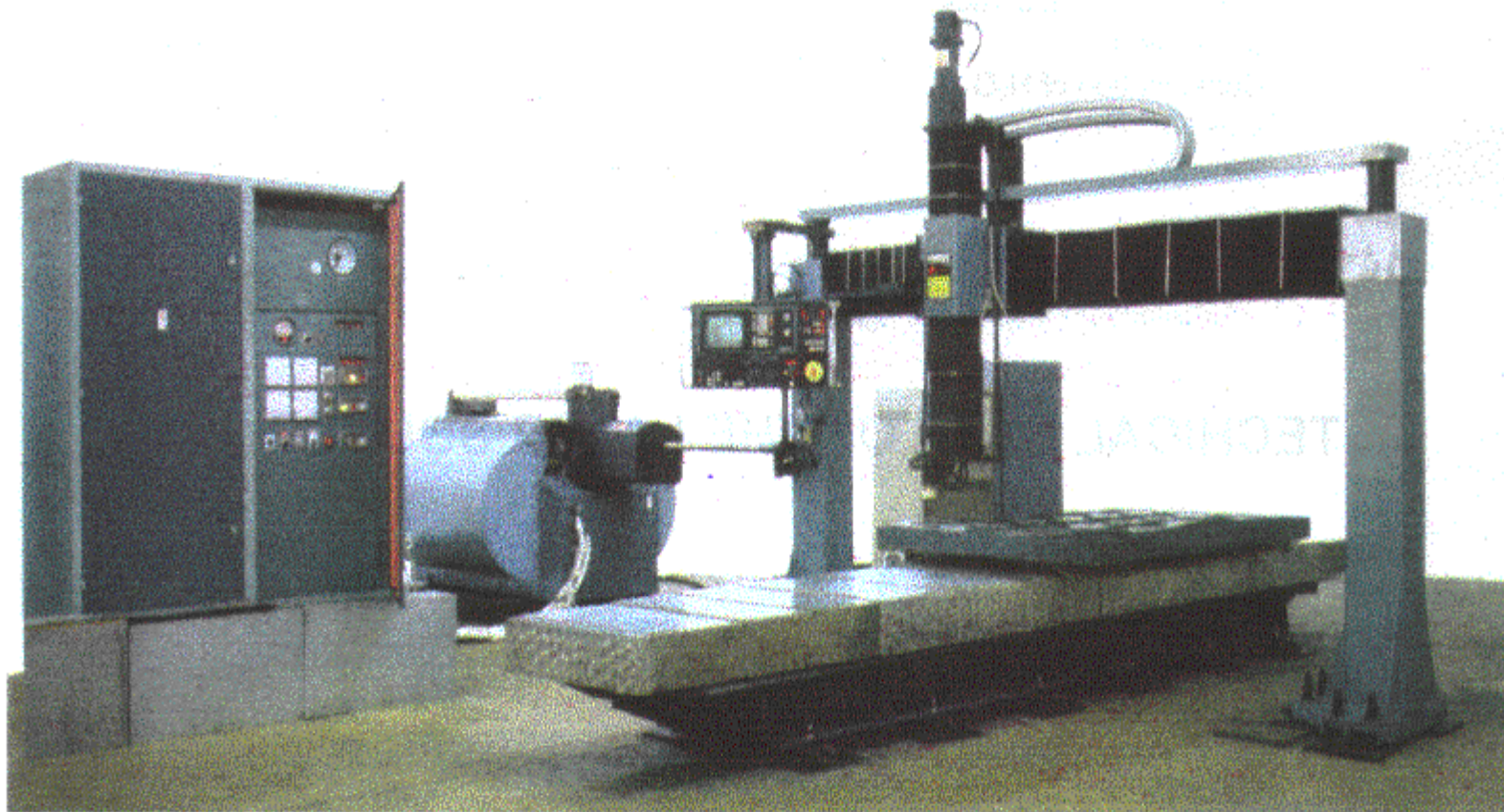
FAKTORI
OBRADNE

OSNOVNA KONFIGURACIJA LASERSKE MAŠINE ZA KONTURNO SEČENJE LIMA

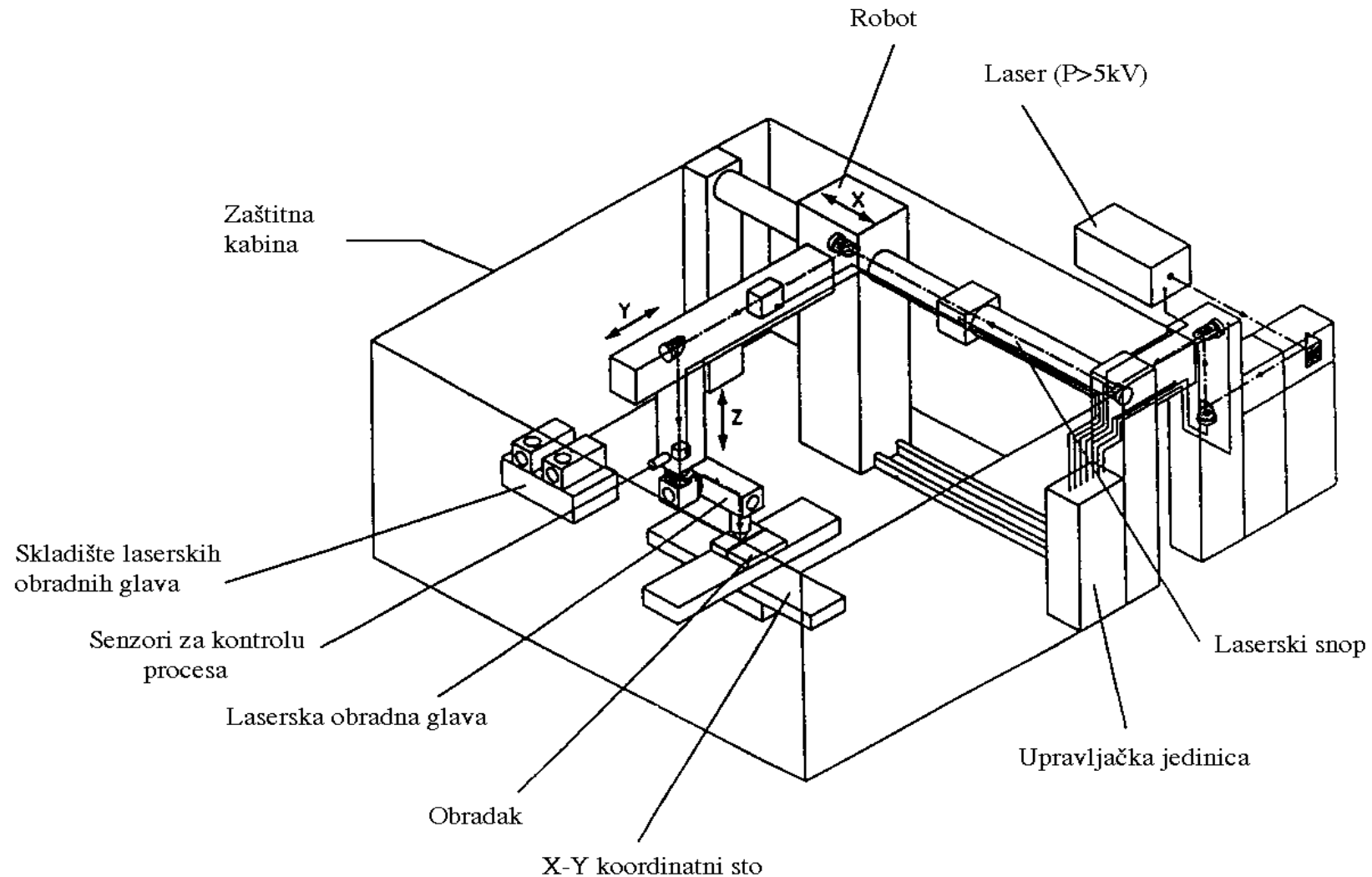


1- mašina koja obezbedjuje kretanja (koordinatni radni sto), 2- laser,
3- sistem za napajanje energijom,
4- upravljačka jedinica.

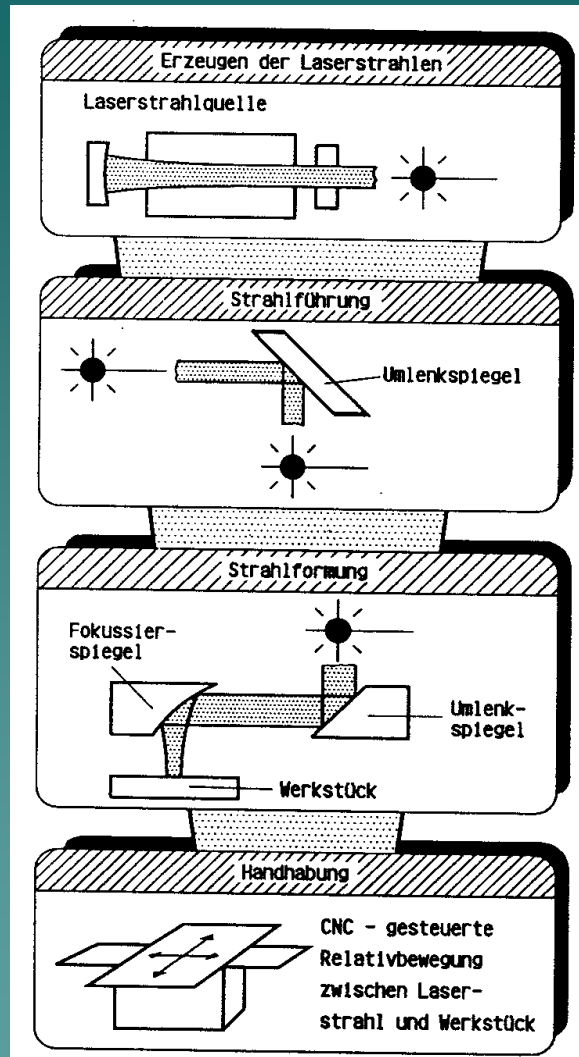
LASERSKA MA[INA "HEBAR"



SAVREMENA KONFIGURACIJA LASERSKE MAŠINE ZA KONTURNO SEČENJE LIMA



OSNOVNI ELEMENTI LASERSKE MA[INE



LASER

(Generator laserskog zra~enja)

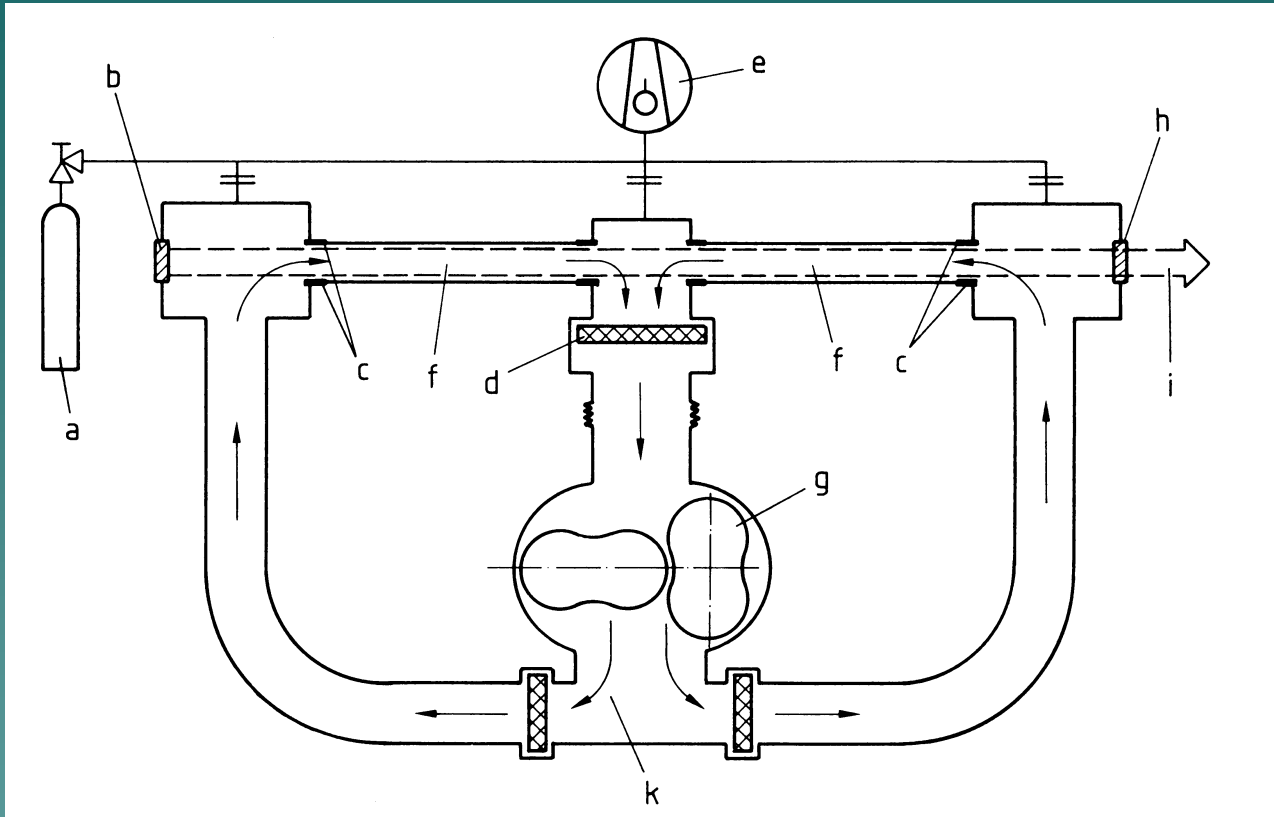
OPTI^KI SISTEM ZA PRENOS
LASERSKOG SNOPA

OBRADNA GLAVA

(Sistem za fokusiranje laserskog
snopa i mlaznica)

KOORDINATNI RADNI STO

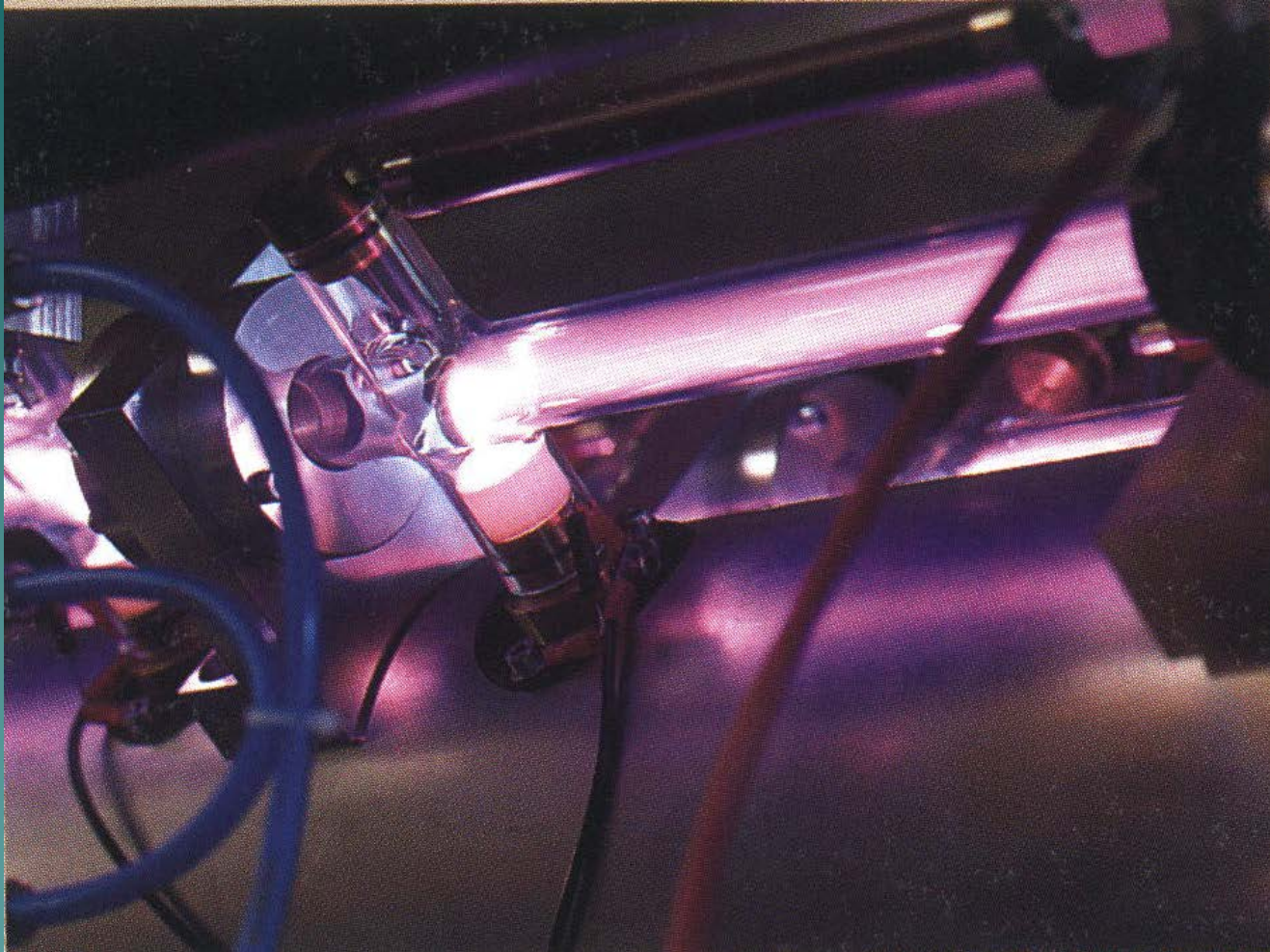
CO₂-LASER AKSIJALNOG TOKA



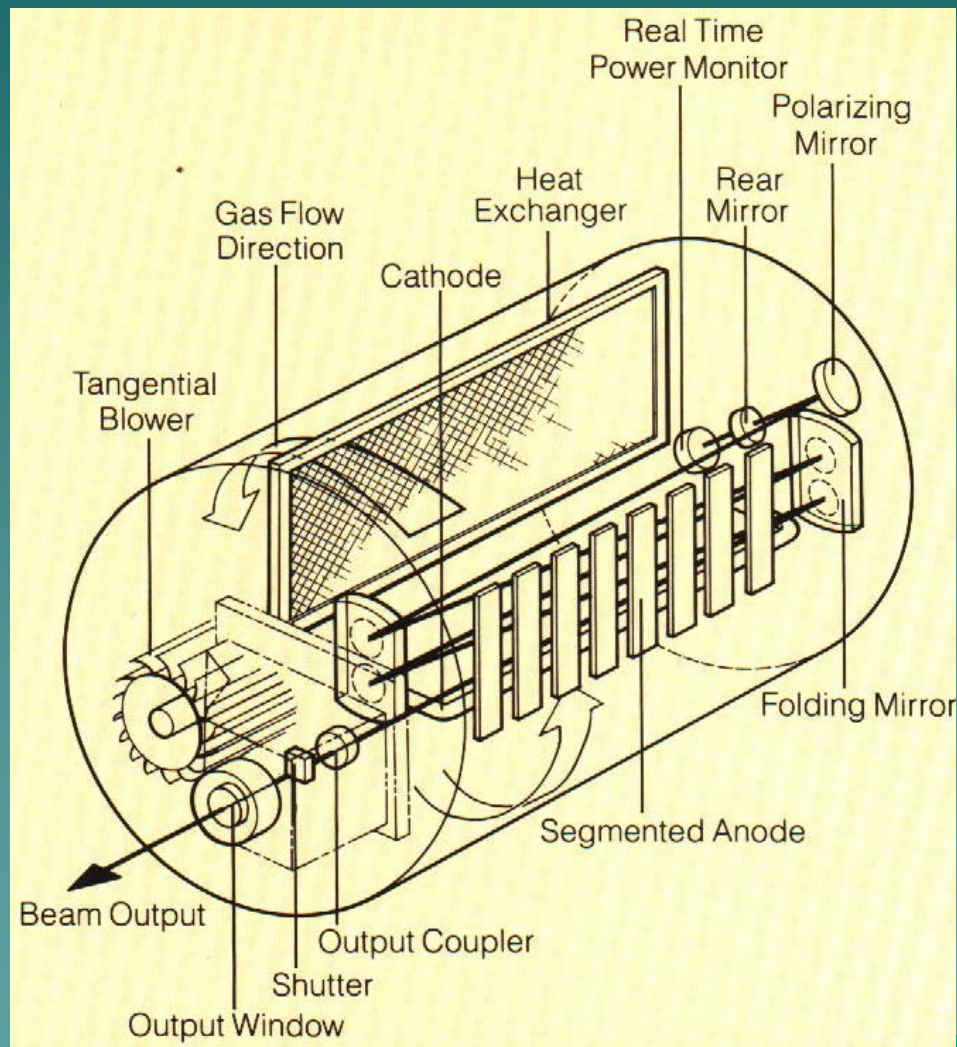
- a) gasna sme{a He-N₂-CO₂,
- b) nepropusno ogledalo,
- c) elektrode,
- e) vakuum pumpa,
- f) cev za gasno pra`njenje,

- g) cirkulaciona pumpa,
- h) polupropusno ogledalo,
- i) laserski snop,
- d) i k) izmenjiva~ toplote.

BYSTRONIC CO₂-LASER



CO₂-LASER TRANSVERZALNOG TOKA SA SEGMENTNIM ELEKTRODAMA

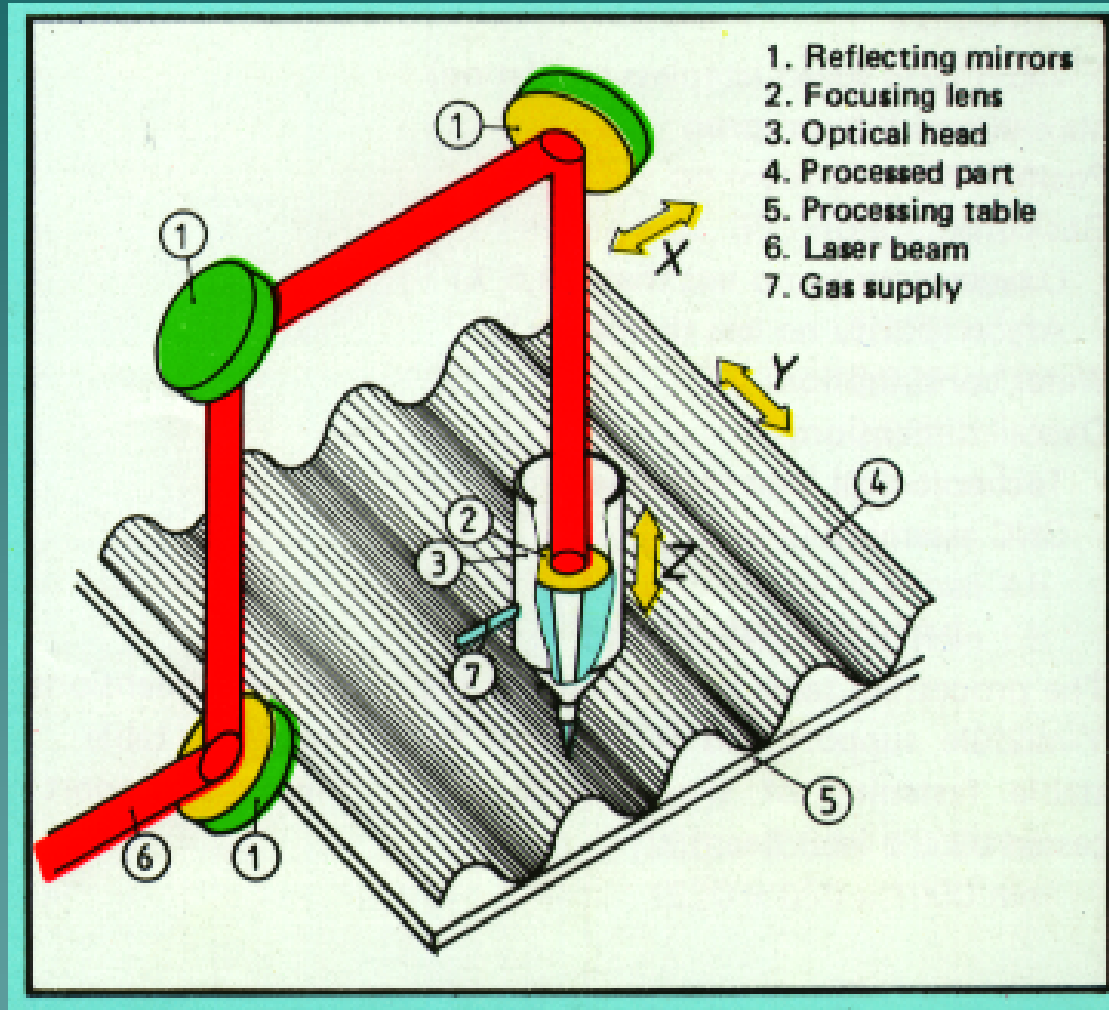


IZGLED LASERA

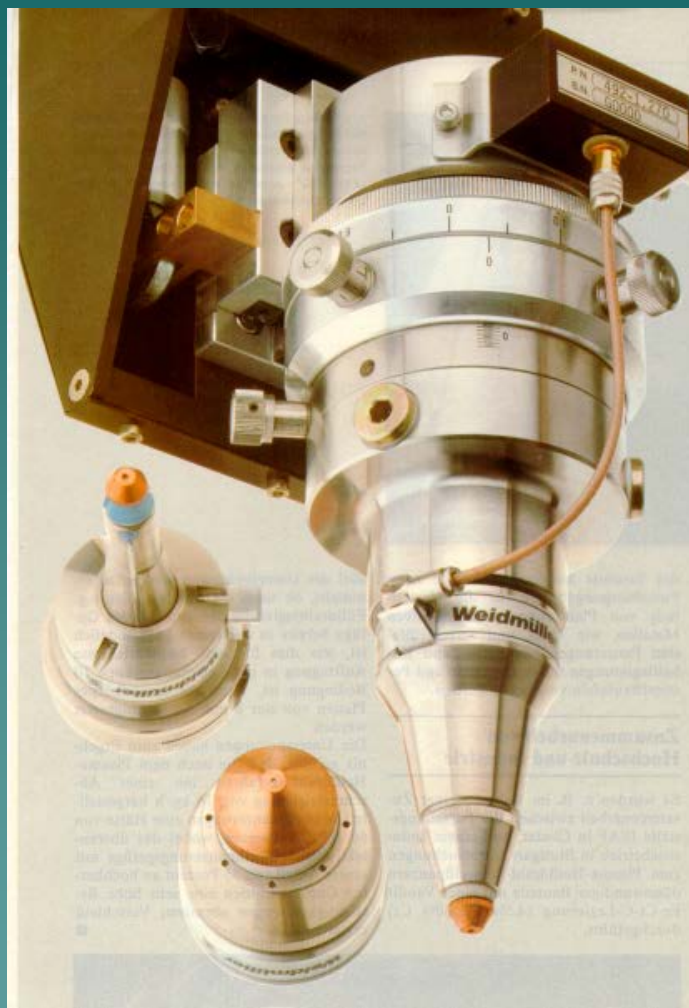


BYSTRONIC CO₂-LASER

OPTI^KI SISTEM ZA PRENOS LASERSKOG SNOPA I OBRADNA GLAVA



OBRADNA GLAVA



KRAJ