جلسه نهم: ماشینکاری با استفاده از اشعه لیزر

LASER

light amplification by stimulated emission of radiation

تقویت نور با انتشار برانگیخته تابش

- کاربردها
  - ماشینکاری فلزات سخت و با مقاومت حرارتی بالا (کاربایدها، سرامیک ها و ...)
  - ماشینکاری غیر فلزات (لاستیک، پلاستیک)

روش های ایجاد لیزر

۱- پمپاژ نوری

از یک منبع نور خارجی برای تولید لیزر استفاده می شود- لیزر یاقوت

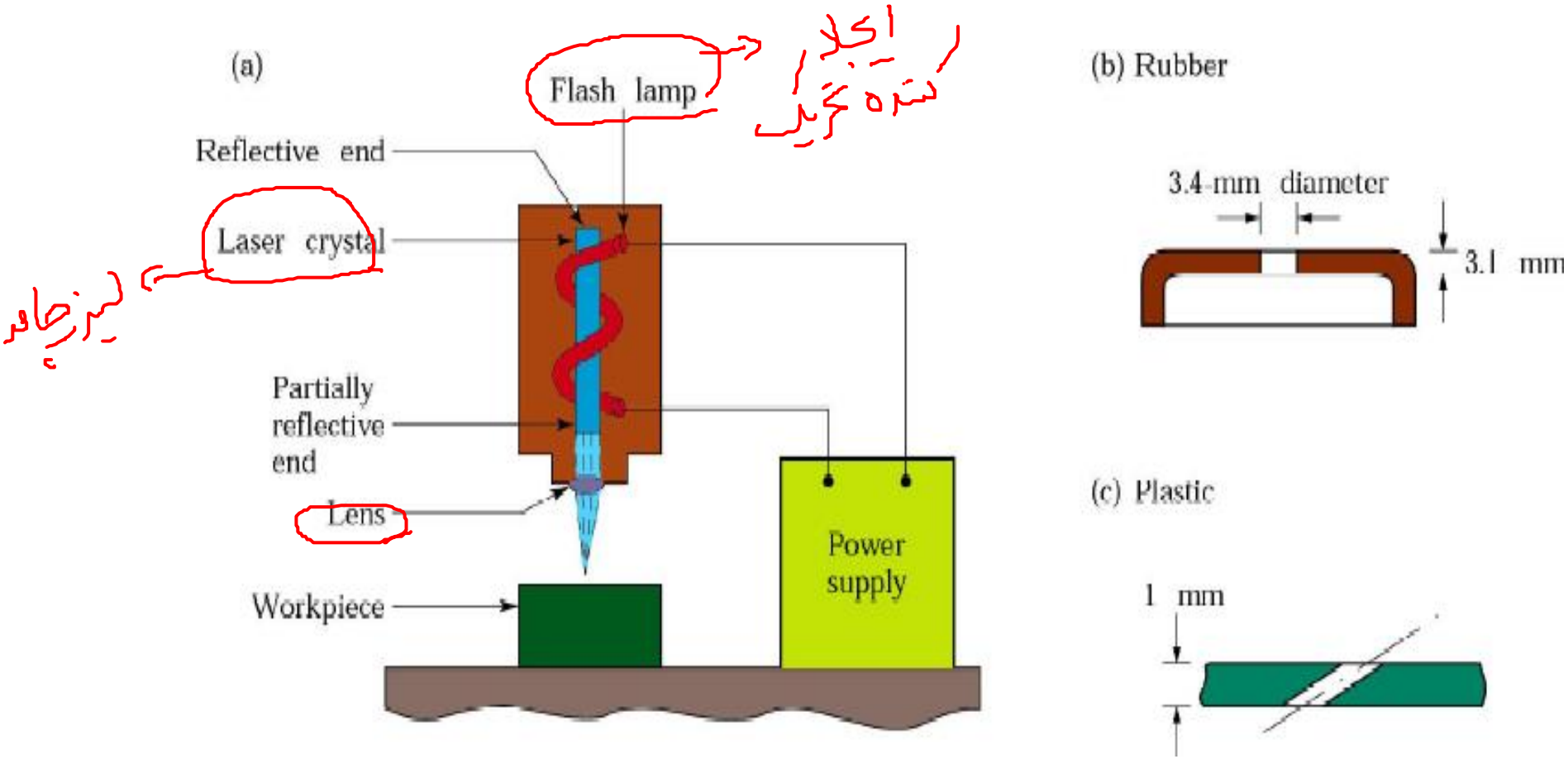
۲- تحریک مستقیم الکترون

در لیزرهای گازی مانند لیزر آرگون در شرایط مناسب دما و فشار الکترون ها اتم های فعال گازی را تحریک می کنند

۳- برخوردهای غیر الاستیک اتم-اتم

در لیزر هلیم نئون برخورد اتم برانگیخته نئون یک اتم نئون دیگر را تحریک کرده و لیزر تابش می شود.

تجهیزات ماشینکاری لیزر



خصوصیات انواع لیزر

TABLE 5.2 Different Types of Lasers

Laser type		Wavelength, nm	Typical performance
Solid	Ruby	694	Pulsed, 5 W
	Nd-YAG	1064	Pulsed, CW, 1–800 W
	Nd-glass	1064	Pulsed, CW, 2 mW
Semiconductor	GaAs	800–900	Pulsed, CW, 2–10 mW
Molecular	CO_2	10.6 μm	Pulsed, CW, <15 kW
Ion	Ar^+	330–530	Pulsed, CW, 1 W–5 kW
	Excimer	200–500	Pulsed
Neutral gas	He-Ne	633	CW, 20 mW

تجهیزات روش لیزر

1. Laser-beam generator
2. Beam delivery: mirrors, beam splitters, focusing lenses
3. Work piece positioning
4. Auxiliary devices: Laser head, safety equipment, etc.

In addition, assist gases also required

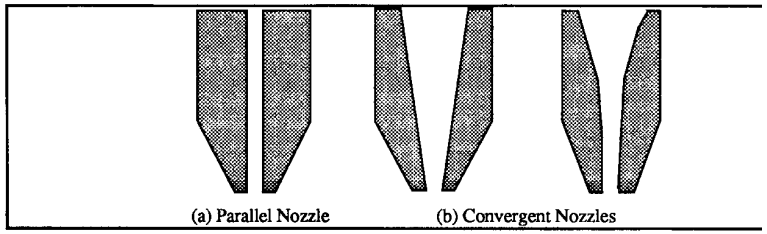


FIGURE 3.19 (a) Parallel and (b) Convergent Nozzle Designs

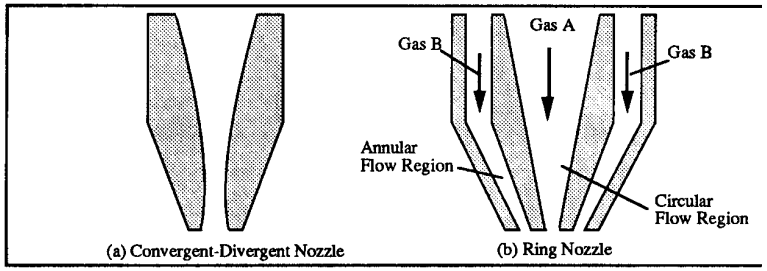
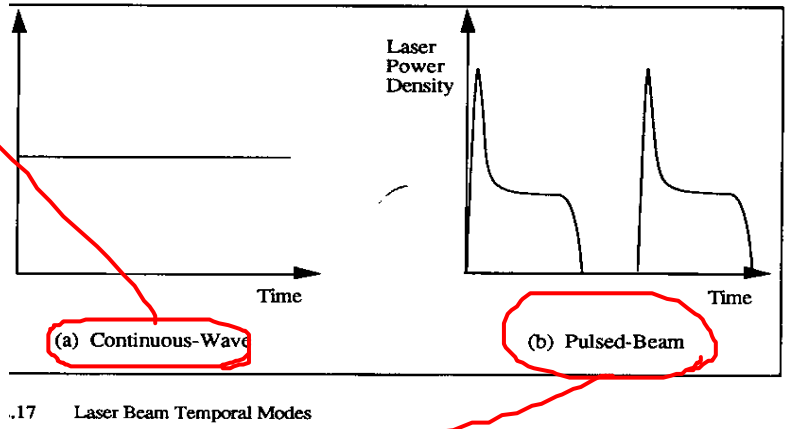


FIGURE 3.20 (a) Convergent-Divergent and (b) Ring Nozzle Designs

حالت های مختلف اشعه لیزر

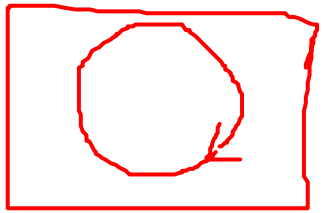
Continuous Wave (CW) commonly results in the highest cutting speed & better surface finish. Roughness is determined by thickness, alloy content, etc.

Pulsed beam results in the fewest thermal effects & least distortion of workpiece. With drilling overlapping holes, it's possible to cut with smoother surface.

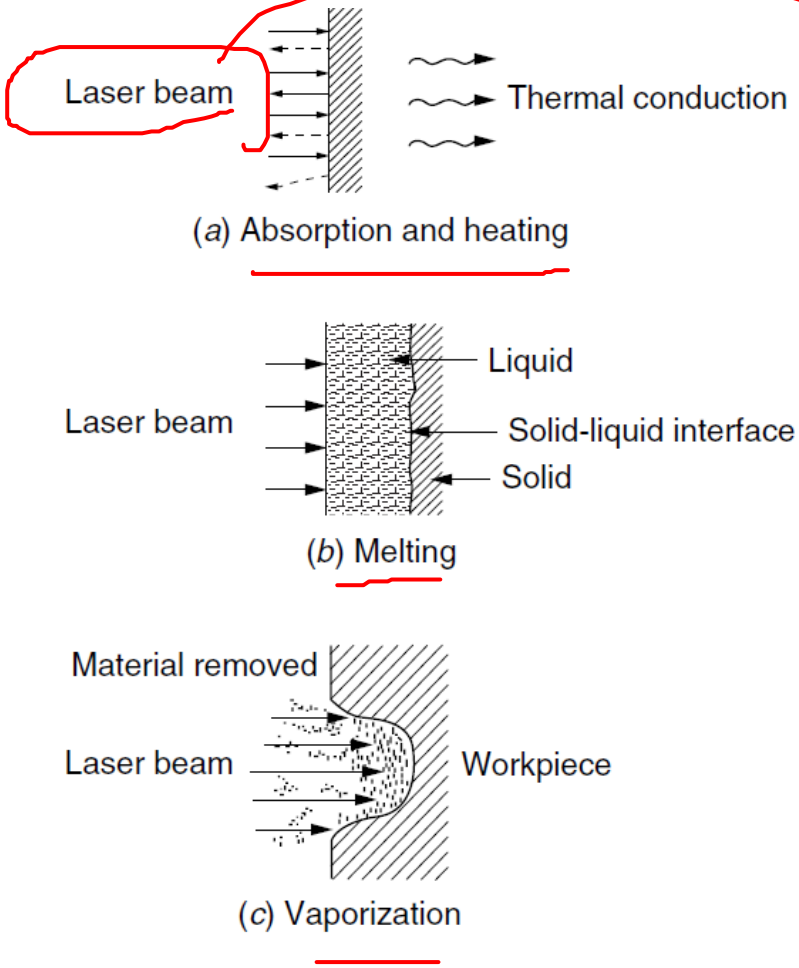


.17 Laser Beam Temporal Modes

قابلیت های روش لیزر



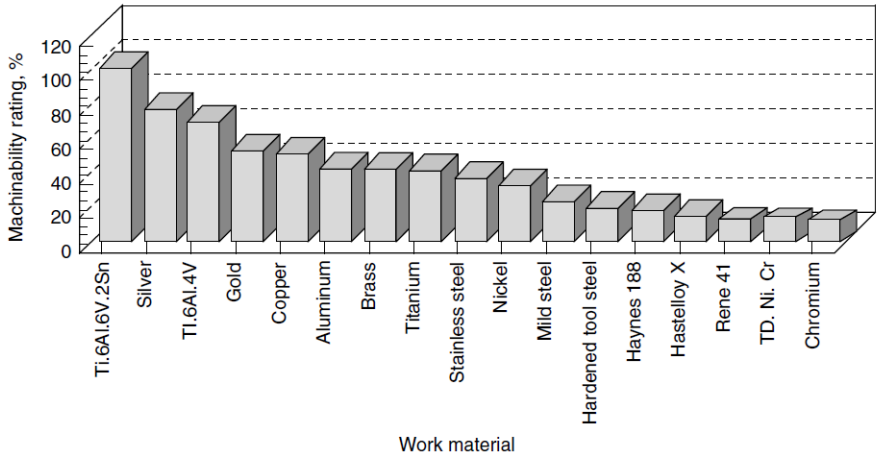
Hole feature	Range
Diameter	0.005–1.27 mm, larger in trepanning
Depth	1.7 mm
Angle	15–90°
Taper	5–20% hole diameter
Depth/diameter ratio	50:1
Drilling depth (trepanned)	6.4 mm
Tolerances	±5–20 % diameter
Minimum corner radious	0.25 mm



عامل تعیین کننده در نرخ براده برداری بازتابش نور از سطح فلز است. هر چه بازتابش بیشتر باشد سرعت براده برداری کمتر است.

عوامل موثر بر نرخ براده برداری

- خصوصیات جنس قطعه کار
  - رسانش گرمایی
  - خصوصیات سطحی قطعه کار (بازتابش، پذیری)
  - دمای ذوب
- خصوصیات لیزر
  - طول موج (با افزایش طول موج بازتابش پذیری بیشتر می شود)
  - توان

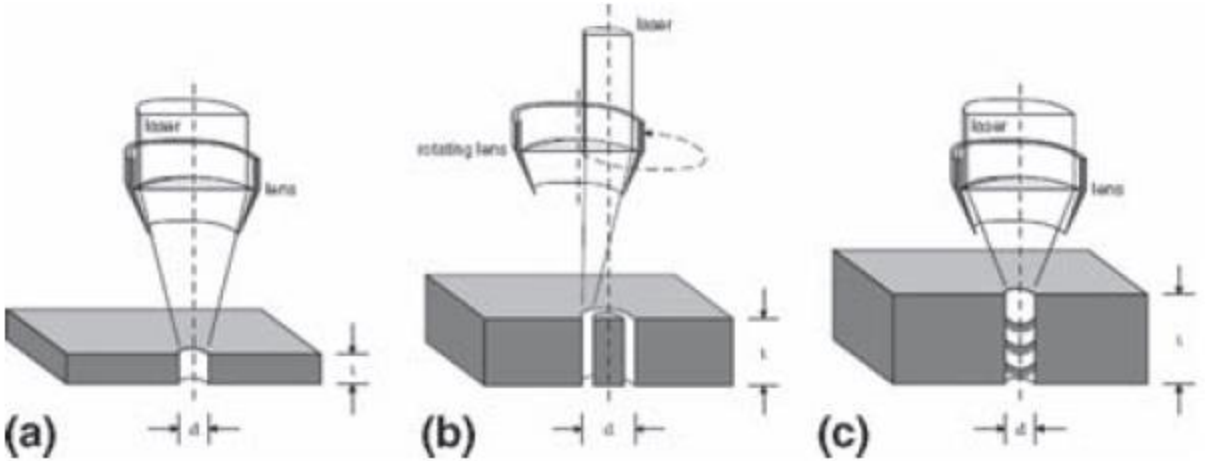


کاربردها-سوراخکاری

- مزیت
- زمان تنظیم کوتاه
- هزینه ابزار در مقایسه با روش های دیگر کم

A. Single pulse drilling
B. Trepanning
C. percussion

روش های سوراخکاری



Single pulse drilling Trepanning drilling Percussion drilling

روش های سوراخکاری

Single pulse drilling

با استفاده از یک پالس سوراخ ایجاد می شود. برای سوراخ های با قطر زیر ۱ میلی متر و ضخامت زیر ۱ میلی متر مورد استفاده قرار می گیرد. انرژی پالس مورد استفاده باید قابل توجه باشد تا سوراخ ایجاد شود.

Trepanning drilling

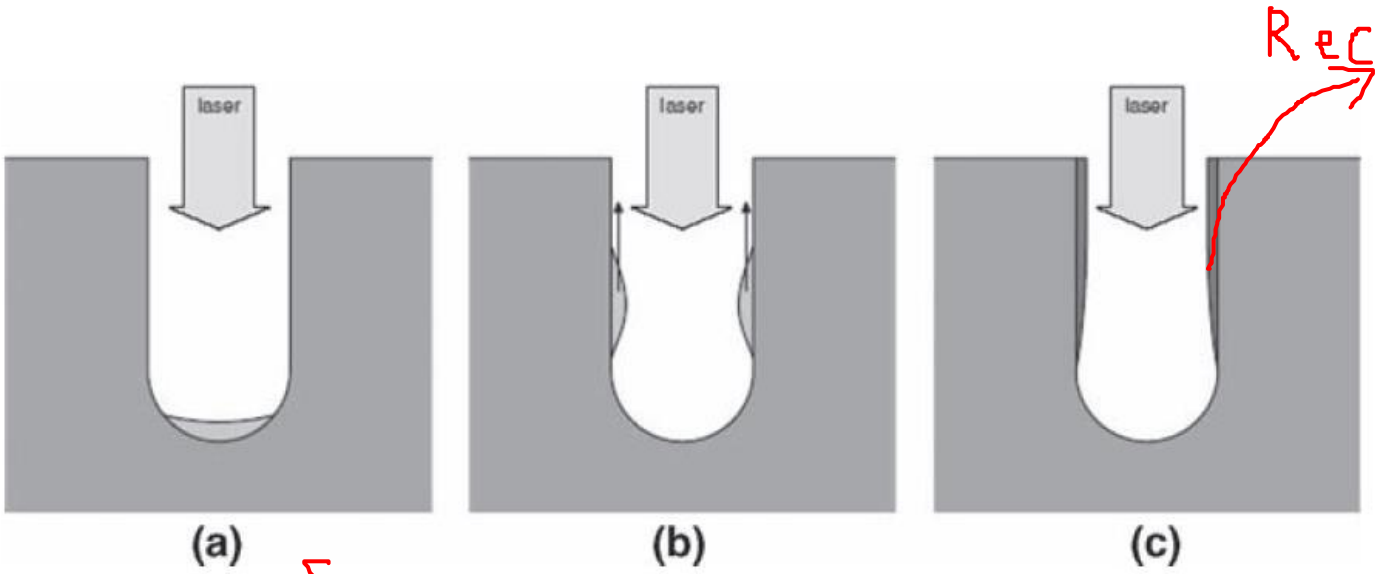
برای ایجاد سوراخ های با قطر بزرگتر (کمتر از ۳ میلی متر) و ضخامت کمتر از ۱۰ میلی متر مورد استفاده قرار می گیرد و شامل ایجاد سوراخ با حرکت دور سوراخ و ایجاد سوراخ های متقاطع برای ایجاد سوراخ اصلی می باشد. معمولا لیزر CO_2و Nd:YAG مورد استفاده قرار می گیرد.

Percussion drilling

برای ایجاد سوراخ های با عمق بزرگ (تا ۲۵ میلی متر) مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش پالس هایی با طول 10^{-12}تا 10^{-3} ثانیه و با فاصله زمانی 10^{-2} ثانیه مورد استفاده قرار می گیرد. از لیزر Nd:YAG به دلیل انرژی بالا در هر پالس استفاده می شود.

neodymium-doped yttrium aluminum garnet; Nd:Y3Al5O12

مراحل روش Percussion

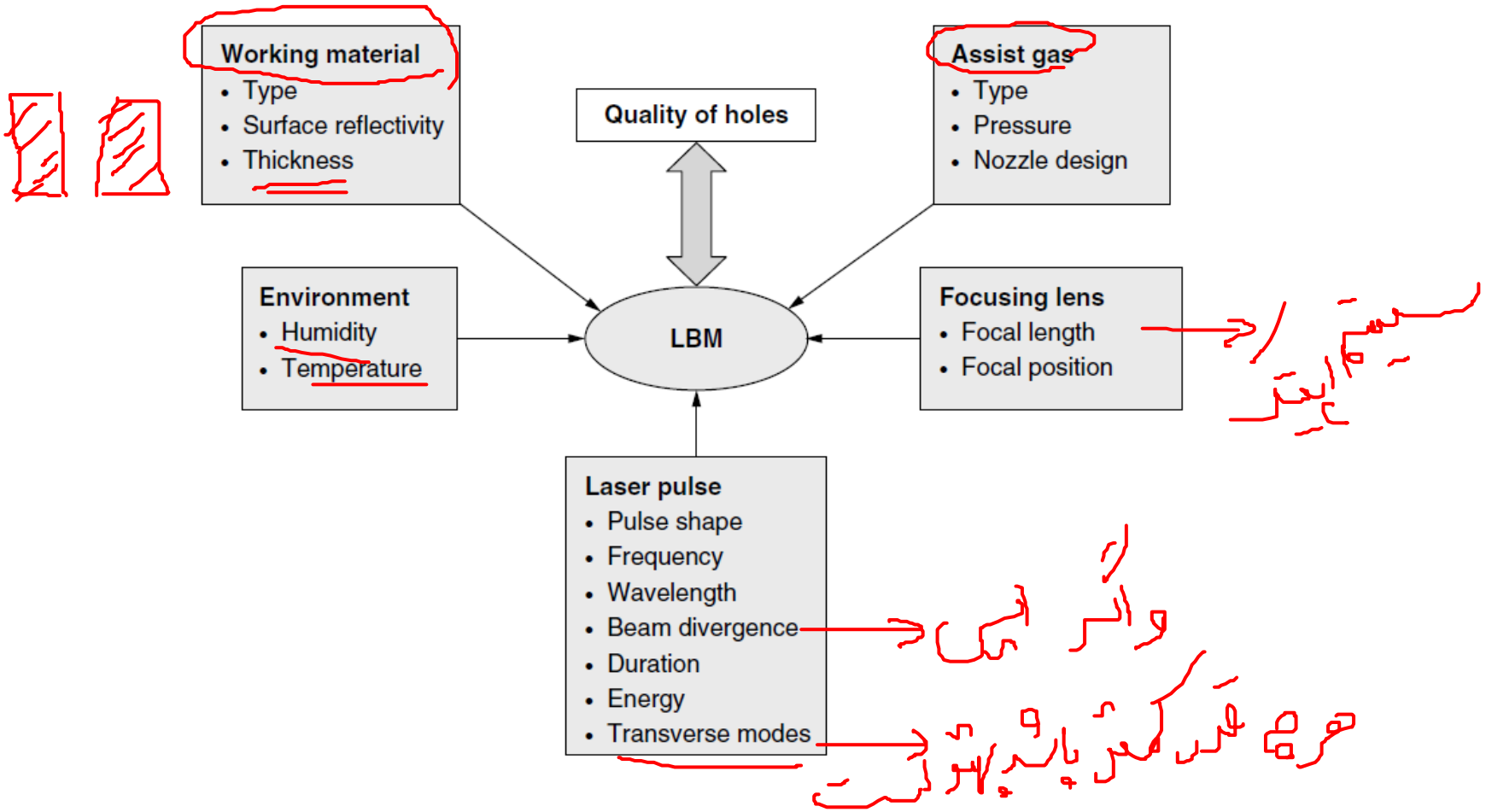


(a) ایجاد حوضچه مذاب در اثر جذب انرژی لیزر

(b) بخار شدن سطح حوضچه باعث پخش شدن مذاب و نشستن قسمتی از آن روی دیواره می شود

(c) بخشی از مذاب روی دیواره، تخلیه شده و بخشی مجددا جامد می شود

عوامل موثر بر کیفیت سوراخ



SJTi
Superior Joining Technologies INC.
Precision Welding
Laser Applications
Special Processes

نقش گاز محافظ

در **توان های کم** که مکانیزم ذوب غالب است، گاز محافظ با ایجاد تنش برشی در لایه ذوب شده باعث افزایش سرعت دور کردن مواد ذوب شده از سوراخ می شود.

در **توان های زیاد** که مکانیزم تبخیر فلز غالب است گاز محافظ، بخار فلز و مواد فلزی را که انرژی لیزر را جذب می کنند را سریعتر از محیط دور می کنند.

هوا، اکسیژن، نیتروژن و آرگون معمولا به عنوان گاز محافظ استفاده می شود.

نقش گاز محافظ

اکسیژن به عنوان گاز محافظ دو نقش متضاد دارد:

۱- اکسید شدن گرماده است وتبخبر شدن را بهبود می بخشدو لایه اکسید جذب نور لیزر را افزایش می دهد

۲- نقطه ذوب لایه اکسید از نقطه ذوب فلز بیشتر است پس نیاز به گرمای بیشتری برای ذوب سطح می باشد.

تاثیر نوع گاز محافظ روی سرعت ماشینکاری

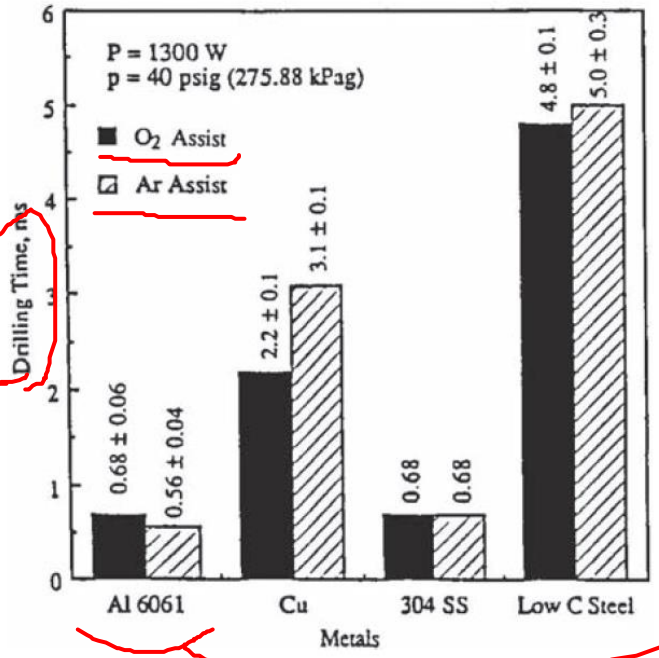
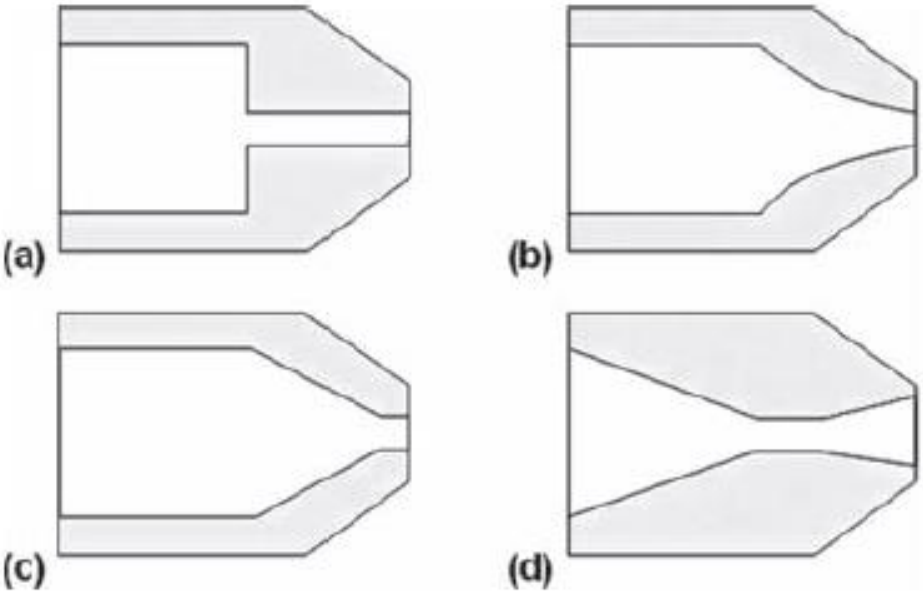


Table 4.2 Absorptivity values for metallic materials (Patel and Brewster 1991)

Material	Room temperature value	Oxidation-enhanced value
Al6061	0.28	0.4
Cu	0.02	0.2
304 stainless steel	0.32	0.32
Low C steel	0.45	0.6

تاثیر نوع نازل روی سوراخکاری



عوامل موثر بر کیفیت سوراخ

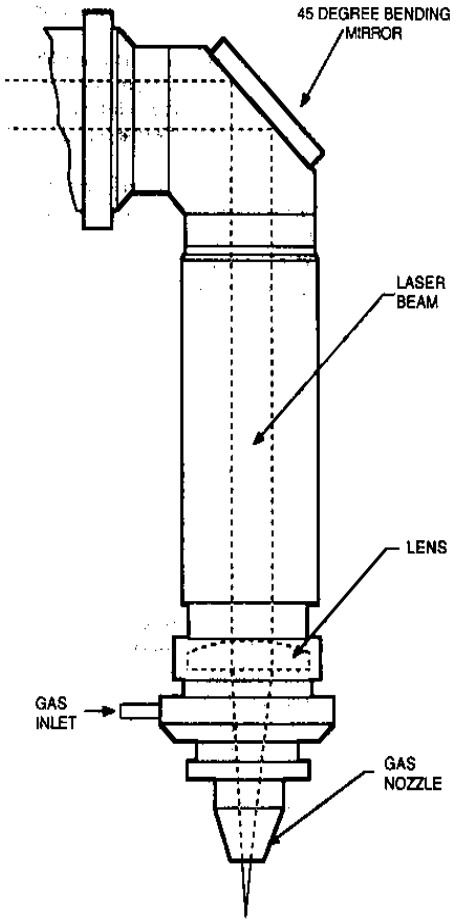


Figure 20.13 Beam delivery system for laser cutting applications.

- گاز محافظ مانند اکسیژن فلز ذوب شده بوسیله لیزر را از محیط ماشینکاری دور می کند همچنین سیستم اپتیکی را از ذرات جداشده از قطعه کار حفظ می کند.

- فشار گاز و فاصله تا سطح قطعه کار نیز بسیار روی کیفیت ماشینکاری موثرند.

stand off distance

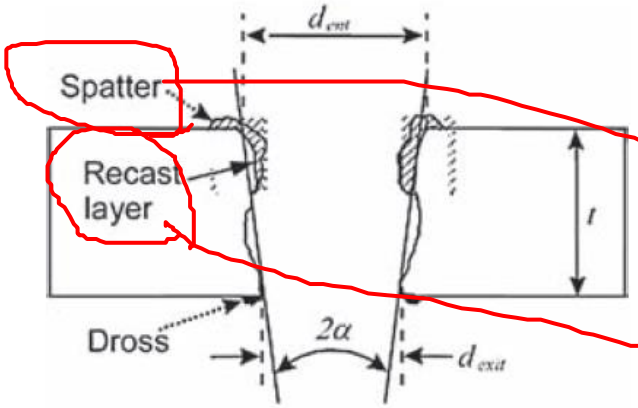
عیوب سوراخکاری

عیوب هندسی

- اندازه سوراخ
- مخروطی شدن
- دایره ای بودن

عیوب متالورژیکی

- ناحیه HAZ
- ترشح
- ترک های ریز
- ناحیه ذوب مجدد



α = Taper angle

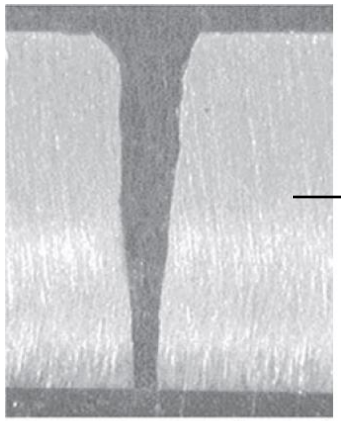
t = Material thickness

d_{ent} = Entrance diameter

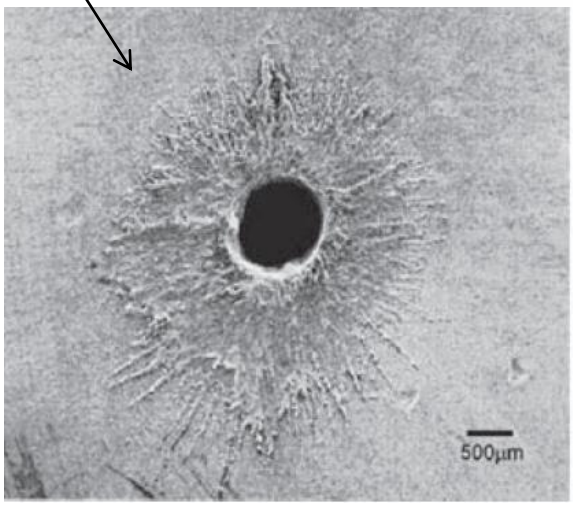
d_{exit} = Exit Diameter

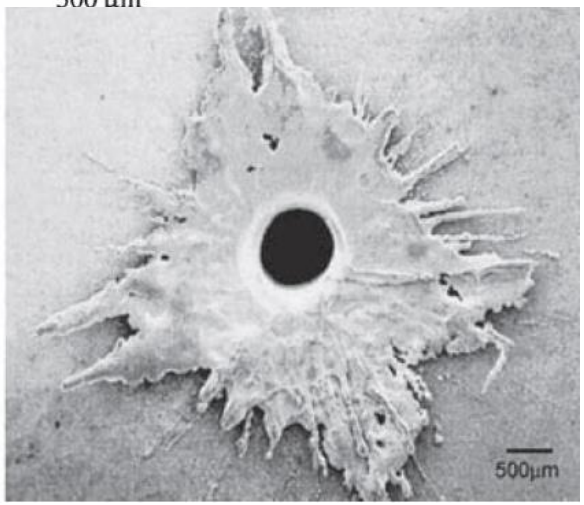
عیوب سوراخکاری

مخروطی شدن در سوراخی به عمق ۴ میلی متر در قطعه IN718



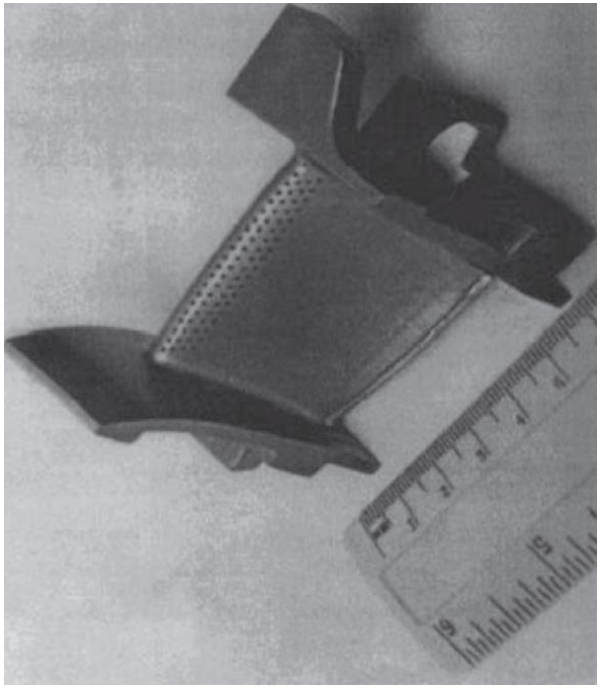
ترشحات حاصل از سوراخکاری لیزر برای الیاژ نیمونیک برای گاز محافظ اکسیژن (چپ) و آرگون (راست)





کاربردهای صنعتی سوراخکاری لیزر

۱- ایجاد سوراخ های خنک کاری در توربین های گازی



کاربردهای صنعتی سوراخکاری لیزر

تعداد و اندازه های سوراخ در موتور هوافضایی

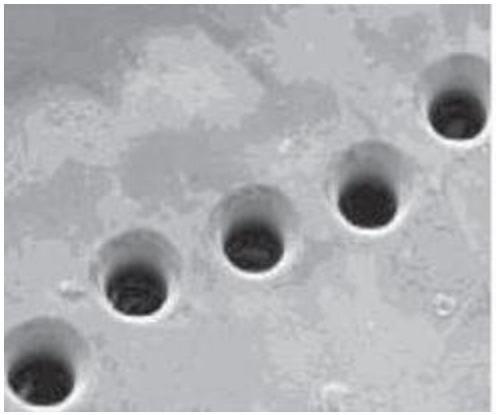
Component	Diameter (mm)	Wall thickness (mm)	Angle to surface (degrees)	No. of holes
Blade	0.3–0.5	1.0–3.0	15	25–200
Vane	0.3–1.0	1.0–4.0	15	25–200
Afterburner	0.4	2.0–2.5	90	40,000
Baseplate	0.5–0.7	1.0	30–90	10,000
Seal ring	0.95–1.05	1.5	50	180
Cooling ring	0.78–0.84	4.0	79	4,200
Cooling ring	5.0	4.0	90	280

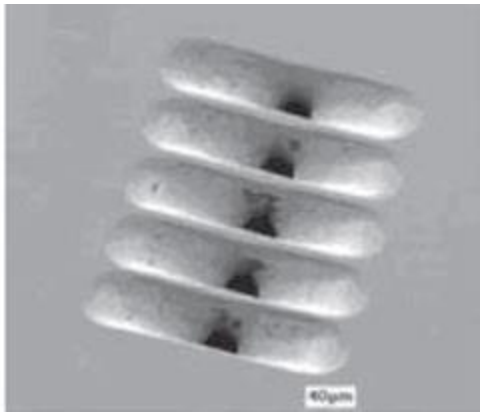
کاربردهای صنعتی سوراخکاری لیزر

۲- سوراخکاری الماس

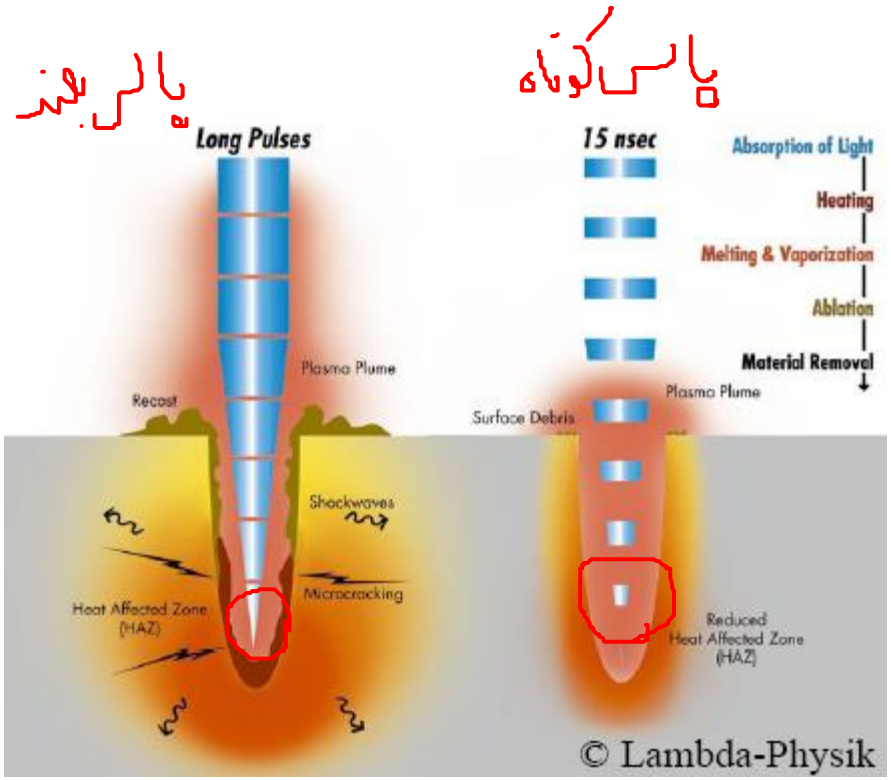
از لیزرهای پالسی جامد برای این کار استفاده می شود
سوراخ های ایجاد شده دقیق و با کمترین ناحیه HAZ هستند.

۳- میکرو ماشینکاری
- پرینتر جوهرافشان
- افشانه موتور





اثر طول پالس روی خصوصیات سوراخ



ویژگی های پالس لیزر برای ایجاد سوراخ افشانه:

- زمان کوتاه پالس
- توان بزرگ به ازای هر پالس
- طول موج کم لیزر

- معمولا از لیزرهای Nd:YAG استفاده می شود چون حداکثر توان در عملکرد پالسی را دارا هستند.

$\text{Femto}=10^{-15}$

نرخ ماشینکاری

power density

$$P_d = \frac{4L_p}{\pi F_l^2 \alpha^2 \Delta T}$$

spot diameter

$$d_s = F_l \alpha$$

P_d = power density, W/cm^2
L_p = laser power, W
F_l = focal length of lens, cm
ΔT = pulse duration of laser, s
α = beam divergence, rad
C_l = constant depending on the material and conversion efficiency
E_v = vaporization energy of the material, W/mm^3
A_b = area of laser beam at focal point, mm^2
h = thickness of material, mm
d_s = spot size diameter, mm

machining rate
mm/min

$$\phi = \frac{C_l L_p}{E_v A_b h}$$

$$A_b = \frac{\pi}{4}(F_l \alpha)^2$$

$$\phi = \frac{4C_l L_p}{\pi E_v (F_l \alpha)^2 h}$$

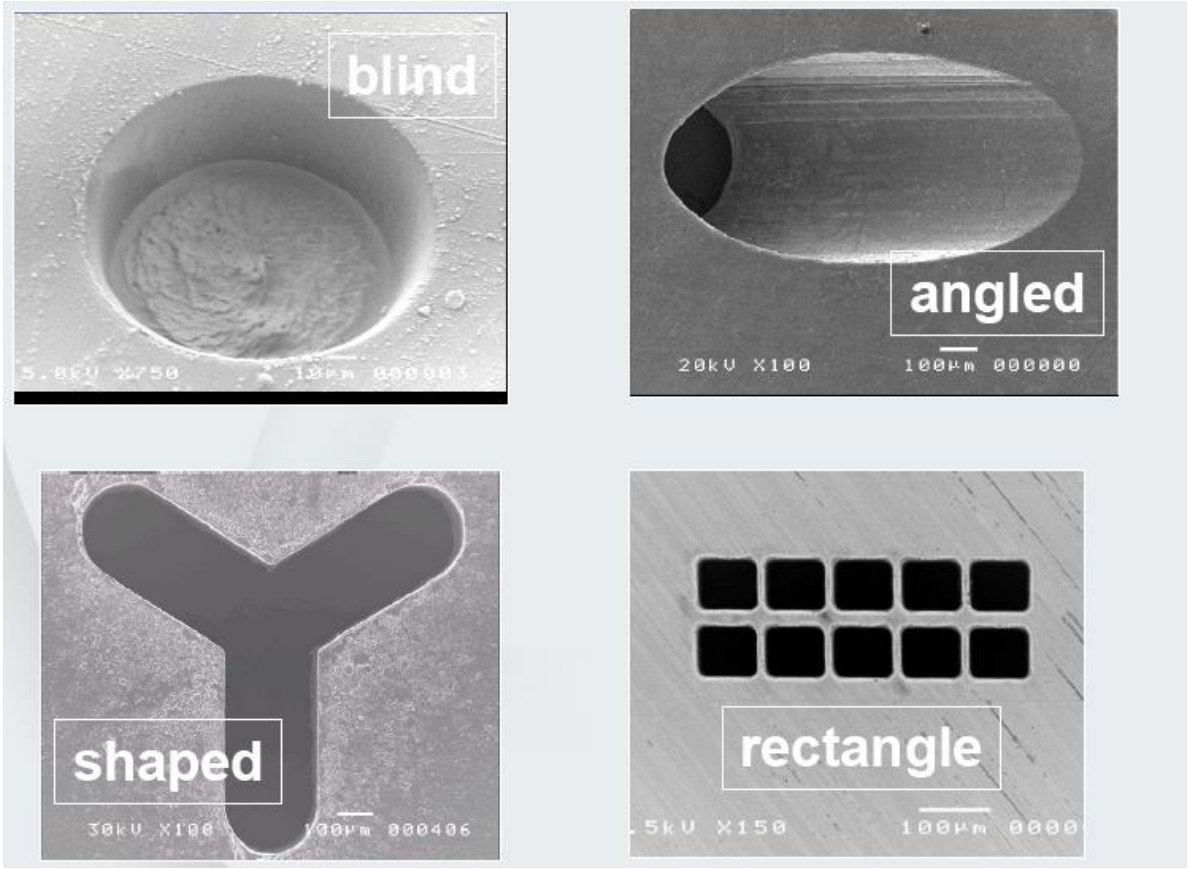
machining rate
mm3/min

$$\mathrm{VRR} = \frac{C_l L_p}{E_v h}$$

کاربردهای صنعتی سوراخکاری لیزر

Industrial field	Applications
Aerospace	Turbine component cooling
	Engine silencing
	Aerofoil laminar flow
Microelectronics	Inkjet printer nozzle
	PCB via interconnects
	IC test vertical probe card
	Optical switching
Automotive	Fuel injection nozzle
	Fuel filter
	Car brake sensors
	Connecting rod lubrications
Biomedical/MEMS	Catheter sensors
	Aerosol spray atomizers
	DNA sampling
	Vaccine Production
	Lab-on-a-chip
Environmental/Renewable energy	Toxic gas sensors
	Solar cell technology
	Fuel cell
	Particulate filters
Others	Food packaging
	Gemstone drilling
	Digital finger printing

شکل های مختلف سوراخ ایجاد شده به کمک روش لیزر

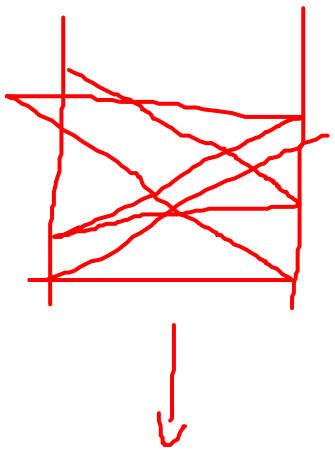


سوراخ های صافی سوخت در موتور دیزل

- سرعت سوراخکاری: ۱۰۰-۵۰۰ سوراخ در ثانیه
- قطر سوراخ ها ۰.۳-۰.۰۵ میلی متر
- ضخامت قطعه کمتر از ۱ میلی متر

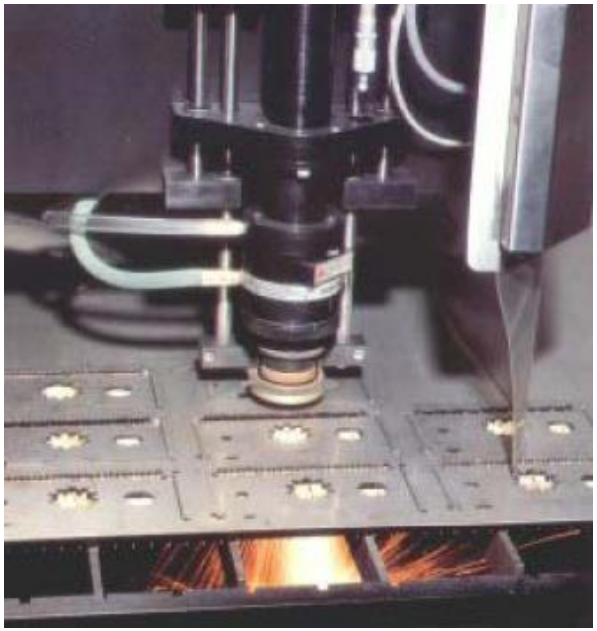
مشکلات روش سوراخکاری

- پروفیل های غیر استوانه ای سوراخ
  - در اثر ایجاد پدیده پمپاژ نوری که باعث پراکنده شدن نور لیزر می شود، اشعه پس از ورود به سوراخ واگرا می شود و سوراخ در انتها قطر کمتری پیدا می کند
  - تولید ابر بخار در حفره نیز بخش عمده ای از انرژی سوراخ را جذب می کند
- ناحیه تحت تاثیر حرارت
- محدود بودن حداکثر عمق سوراخ



کاربردها-برش لیزر

- در این روش به کمک حرکت میز ماشین و یا کله گی دستگاه لیزر، با استفاده از CNC می توان برای برش جنس های مختلف استفاده نمود.
- محدوده توان لیزر مورد استفاده ۲۰۰ وات تا ۱ کیلو وات می باشد.



نمونه قطعات تولید شده به روش برش لیزر

Office equipment

Automobile parts

Construction equipment

مزایای روش لیزر

- فرسایش ابزار وجود ندارد, نیروهای ماشینکاری مورد نیاز نیست
- به خصوصیات جنس قطعه کار از جمله سختی وابسته نیست و فقط تابع خصوصیات حرارتی و اپتیکی قطعه است
- فرایند انعطاف پذیری است
- زمان ماشینکاری و تنظیم دستگاه در مقایسه با روش های مخصوص دیگر کوتاه است

مشکلات روش لیزر

- ایجاد سوراخ کور با این روش با دقت مناسب مشکل است
- بازده انرژی کمی دارد
- منطقه تحت تاثیر حرارت (HAZ) ایجاد مشکلاتی در این روش می کند
- با افزایش ضخامت قطعه کار کارایی روش کاهش می یابد

Direct metal **laser sintering** (DMLS)

پایان جلسه نهم