بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی
گروه مکانیک

پایان‌نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مکانیک (تبدیل انرژی)

عنوان:

بررسی عددی انتقال حرارت در لایه‌های نازک مواد طی فرآیند گرمایش لیزری

استاد راهنما:
دکتر حسین احمدی‌کیا

استاد مشاور:
دکتر محسن گودرزی

پژوهشگر:
امیر ابراهیمی فخار

تابستان ۱۳۸۸

همه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا (یا استاد یا اساتید راهنمای پایان‌نامه) و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

تشکر و قدردانی:

سپاس و حمد مخصوص خدائی است که در تمامی لحظات زندگی، الطاف خود را نصیب حال بندگان خویش می نماید. خدائی که آثار وجودش را در هر لحظه از زندگی می توان یافت. بی تردید انجام هر کاری در گرو خواست اوست و بدون آن هیچ کاری به انجام نخواهد رسید.

بعد از سپاس و حمد پروردگار، لازم می بینم از زحمات پدر و مادر خود تشکر نمایم. کسانی که برای رشد و ترقی من از هیچ تلاشی کوتاهی ننموده اند و تمام شادی و غم آنها در بالندگی فرزندانشان می باشد. بدون شک به خاطر تمامی موفقیت های زندگی، خویش را مدیون آنها می دانم و در این فرصت از آنها قدردانی می کنم.

هر کس در راه زندگی رو به رشد خود نیازمند راهنمائی است تا در فراز و نشیب این راه دستگیر او باشد. اینجانب نیز در راه زندگی علمی خود، وجود اساتید ارجمند جناب آقایان **دکتر حسین احمدی کیا** و **دکتر محسن گودرزی** را مایه افتخار خود می دانم. راهنمائی های بی منت این عزیزان در طول این مدت مورد ستایش بوده و از اینرو، واژه تشکر کلمه ای ناتوان در سپاس از این بزرگواران است.

از اساتید محترم جناب آقای **دکتر محمد مهدی رشیدی** دانشیار و **دکتر فضل الله اسکندری** استادیار گروه مکانیک دانشگاه بوعلی سینا که با وجود مشغله کاری فراوان، داوری این پایان نامه را بر عهده گرفتند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

مسلماً پایان نامه انجام شده خالی از عیب نمی باشد، لذا پیشاپیش از کاستی هائی که ممکن است وجود داشته باشد پوزش می طلبم و امیدوارم این تحقیق توانسته باشد گوشه ای ناچیز از ابهامات دانش بشری را برطرف کند.

امیر ابراهیمی فخار

تابستان ۸۸

تقدیم به

پدرم، برای مهربانی‌هایش

و مادرم، برای خوبی‌هایش

نام و نام خانوادگی: امیر ابراهیمی فخار

عنوان پایان نامه:

"بررسی عددی انتقال حرارت در لایه‌های نازک مواد طی فرآیند گرمایش لیزری"

استاد راهنما: دکتر حسین احمدی‌کیا

استاد مشاور: دکتر محسن گودرزی

درجه: کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

زمینه مطالعه: انتقال حرارت

دانشکده: فنی مهندسی- دانشگاه بوعلی سینا

تاریخ فارغ التحصیلی: تابستان ۱۳۸۸

واژه‌های کلیدی: لیزر، ذوب، تبخیر، نرخ برداشت ماده

چکیده:

در این رساله، مدلی حرارتی برای فرآیندهای سوراخ‌کاری و برش لیزری ارائه شده است.

در سوراخ‌کاری لیزری، پدیده‌های ذوب و تبخیر در حین فرآیند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. موقعیت مکانی فصول مشترک جامد-مایع و مایع-بخار، با استفاده از حل معادلات بقای انرژی به دست آمده‌اند. ارتباط میان دمای اشباع و فشار پس‌زنی، با استفاده از معادله‌ی کلازیوس-کلاپیرون در نظر گرفته شده است. همچنین، انتقال حرارت در فاز جامد، با استفاده از روش تقریبی انتگرال حل شده است. معادلات حاکم بر فرآیند، معادلات غیر خطی هدایت حرارتی بوده، و با استفاده از روش اختلاف محدود، به حل آن‌ها پرداخته شده است. تأثیر پارامترهای مختلف پرتوی لیزری، از قبیل شدت انرژی، شعاع و زمان پالس پرتو، بر روی پروفیل سوراخ ایجاد شده بررسی شده است. نتایج نشان داده است که، با افزایش شعاع پرتوی لیزری، میزان نرخ برداشت ماده کاهش خواهد یافت.

همچنین، پدیده‌ی تبخیر در حین فرآیند برش لیزری مورد مطالعه قرار گرفته، و موقعیت مکانی فصل مشترک جامد-بخار، با استفاده از حل معادلات بقای انرژی به دست آمده است. نتایج به دست آمده، سازگاری قابل قبولی را با داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهند.

فهرست مطالب

عنـوان
صفحه

فصل اول: مقدمه

۱-۱- لیزر ۲
۱-۲- ماشین‌کاری لیزری ۴
۱-۲-۱- مزایای ماشین‌کاری لیزری ۶
۱-۳- سوراخ‌کاری لیزری ۷
۱-۴- برش لیزری ۸
۱-۵- مروری بر کارهای گذشته ۹
۱-۶- بیان مسأله ۱۱

فصل دوم: معادلات حاکم بر فرآیندهای سوراخ‌کاری و برش لیزری

۲-۱- سوراخ‌کاری لیزری ۱۴
۲-۱-۱- موازنه‌ی انرژی ۱۶
۲-۱-۲- هدایت حرارتی در فاز جامد ۲۱
۲-۱-۲-۱- پروفیل دمای درجه دو ۲۱
۲-۱-۲-۲- پروفیل دمای نمایی ۲۴
۲-۲- برش لیزری ۲۶
۲-۲-۱- موازنه‌ی انرژی ۲۷
۲-۲-۲- هدایت حرارتی در فاز جامد ۳۱

فصل سوم: روش حل عددی

۳-۱- سوراخ‌کاری لیزری ۳۵
۳-۱-۱- پروفیل دمای درجه دو ۳۶
۳-۱-۱-۱- مرحله‌ی پیش گرمایش ۳۶
۳-۱-۱-۲- مرحله‌ی ذوب ۳۸
۳-۱-۱-۳- مرحله‌ی تبخیر ۴۰
۳-۱-۲- پروفیل دمای نمایی ۴۰

۳-۱-۲-۱- مرحله‌ی پیش گرمایش ۴۰
۳-۱-۲-۲- مرحله‌ی ذوب ۴۲
۳-۱-۲-۳- مرحله‌ی تبخیر ۴۴
۳-۲- برش لیزری ۴۵
۳-۲-۱- مرحله‌ی پیش گرمایش ۴۵
۳-۲-۲- مرحله‌ی تبخیر ۴۷

فصل چهارم: نتایج

۴-۱- سوراخ‌کاری لیزری ۴۹
۴-۱-۱- تأثیر پارامترهای پرتوی لیزری بر فرآیند سوراخ‌کاری ۵۱
۴-۱-۱-۱- تأثیر شدت انرژی پرتوی لیزری بر روی پروفیل سوراخ ۵۱
۴-۱-۱-۲- تأثیر زمان پالس لیزر بر روی پروفیل سوراخ ۵۴
۴-۱-۱-۳- تأثیر شعاع پرتوی لیزری بر روی پروفیل سوراخ ۵۶
۴-۲- برش لیزری ۵۸
۴-۳- جمع بندی نتایج ۵۹
۴-۴- پیشنهادها ۶۰
مراجع ۶۱

فهرست اشکال

عنـوان | صفحه

شکل (۱- ۱). مودهای زمانی پرتوی لیزری ۴
شکل (۱- ۲). نمایی شماتیک از شیوه‌های ماشین‌کاری لیزری (یک، دو و سه بعدی) ۵
شکل (۱- ۳). توزیع فضایی شدت پرتوی لیزری ۷
شکل (۱- ۴). نمایی شماتیک از برش لیزری ۸
شکل (۲- ۱). مدل فیزیکی فرآیند سوراخ‌کاری لیزری ۱۴
شکل (۲- ۲). مدل فیزیکی فرآیند برش لیزری ۲۶
شکل (۴- ۱). موقعیت مکانی فصول مشترک جامد-مایع و مایع-بخار ۵۰
شکل (۴- ۲). تأثیر پروفیل دمای فاز جامد بر روی شکل سوراخ ۵۱
شکل (۴- ۳). تأثیر میزان شدت انرژی پرتوی لیزری بر روی عمق سوراخ ۵۲
شکل (۴- ۴). تأثیر میزان شدت انرژی پرتوی لیزری بر روی شعاع سوراخ ۵۲
شکل (۴- ۵). تأثیر میزان شدت انرژی پرتوی لیزری بر روی نرخ برداشت ماده ۵۳
شکل (۴- ۶). تأثیر میزان زمان پالس پرتوی لیزری بر روی عمق سوراخ ۵۴
شکل (۴- ۷). تأثیر میزان زمان پالس پرتوی لیزری بر روی شعاع سوراخ ۵۵
شکل (۴- ۸). تأثیر میزان زمان پالس پرتوی لیزری بر روی نرخ برداشت ماده ۵۵
شکل (۴- ۹). تأثیر میزان شعاع پرتوی لیزری بر روی عمق سوراخ ۵۶
شکل (۴- ۱۰). تأثیر میزان شعاع پرتوی لیزری بر روی شعاع سوراخ ۵۷
شکل (۴- ۱۱). تأثیر میزان شعاع پرتوی لیزری بر روی نرخ برداشت ماده ۵۷
شکل (۴- ۱۲). رشد سوراخ ایجاد شده در راستای طولی قطعه کار (سمت چپ) و سطع مقطع سوراخ ایجاد شده در راستای عرضی قطعه کار (سمت راست) ۵۹

فهرست جداول

عنـوان	صفحه
جدول (۲- ۱). پارامترهای بی‌بعد سوراخ‌کاری لیزری	۲۰
جدول (۲- ۲). پارامترهای بی‌بعد برش لیزری	۳۰
جدول (۴- ۱). خواص حرارتی آلیاژ Hastelloy-X	۴۹
جدول(۴- ۲). مقادیر پارامترهای بی‌بعد سوراخ‌کاری لیزری	۴۹
جدول(۴- ۳). مقادیر پارامترهای بی‌بعد برش لیزری	۵۸

فهرست علائم

a	پارامتر انحنای بی‌بعد فصل مشترک
c_p	گرمای ویژه
dA	مساحت سطح مقطع بی‌نهایت کوچک بی‌بعد
h_{lv}	گرمای نهان تبخیر
H_{lv}	گرمای نهان تبخیر بی‌بعد
h'_{lv}	گرمای نهان تبخیر تصحیح شده
h_{sl}	گرمای نهان ذوب
h_{sv}	گرمای نهان تغییر فاز جامد به بخار
H_{sv}	گرمای نهان تغییر فاز جامد به بخار بی‌بعد
I	شدت لیزر
I_0	شدت لیزر در مرکز پرتو
k	ضریب هدایت حرارتی
MR	نرخ برداشت ماده
n	مختصه‌ی راستای عمود بر فصل مشترک
N_i	شدت انرژی بی‌بعد پرتوی لیزری
N_k	پارامتر نسبت هدایت حرارتی به شدت لیزر
N_{p_0}	فشار محیط بی‌بعد

N_α	نسبت پخش حرارتی
p_0	فشار محیط
P	توان پرتوی لیزری
r	مختصه‌ی شعاعی
R	شعاع پرتوی لیزری
R_g	ثابت گاز فاز بخار
R_h	نسبت گرماهای نهان
s	موقعیت مکانی فصل مشترک
S	موقعیت مکانی بی‌بعد فصل مشترک
Sc	پارامتر بی‌بعد هدایت
Ste	عدد استفان
t	زمان
t_p	زمان پالس پرتوی لیزری
T	دما
u	سرعت حرکت نسبی پرتوی لیزری و قطعه کار
U	سرعت حرکت نسبی بی‌بعد
V_n	سرعت حرکت بی‌بعد فصل مشترک در راستای n
x, y, z	مختصات دستگاه دکارتی
X, Y, Z	مختصات بی‌بعد دستگاه دکارتی

علائم یونانی

α	پخش حرارتی
α_{abs}	ضریب جذب
γ	نسبت گرماهای ویژه‌ی فاز بخار
δ	عمق نفوذ حرارتی بی‌بعد در فاز جامد
η	مختصه‌ی شعاعی بی‌بعد
θ_i	نسبت دمای اولیه به دمای اشباع در فشار محیط
θ_{l_0}	دمای بی‌بعد سطح مایع
θ_m	نسبت دمای ذوب به دمای اشباع در فشار محیط
θ_s	دمای بی‌بعد فاز جامد
θ_{sat}	دمای اشباع بی‌بعد
ρ	چگالی
τ	زمان بی‌بعد

τ_p	زمان بی‌بعد پالس لیزر

پایین‌نویس‌ها

cr	مقدار بحرانی
i	اولیه
l	مایع
m	ذوب
s	جامد
sat	اشباع
$sat,0$	مقدار اشباع در فشار محیط
1	فصل مشترک مایع-بخار
2	فصل مشترک جامد-مایع

فصل اول

مقدمه

از زمان اختراع لیزر در سال ۱۹۶۰، لیزرها کاربردهای گسترده‌ای در مهندسی و صنعت پیدا کرده‌اند، که شامل جوشکاری، سوراخکاری، برش، عملیات حرارتی، جراحی‌های پزشکی و ... می‌باشند. این کاربردها، به ویژه در بخش‌هایی که فرآیندهای متداول ماشین‌کاری توانایی برآورده کردن نیازهای ما را ندارند (به دلایلی از قبیل عیوب حرارتی، اعوجاج[1]، عدم دسترسی آسان به قطعه کار و ...)، مشهودتر است. به منظور کنترل و بهینه سازی کیفیت قطعات ماشین‌کاری شده، بررسی فرآیندهای پیچیده‌ی ماشین‌کاری لیزری امری ضروری است.

در این فصل خلاصه‌ای از عملیات ماشین‌کاری لیزری ارائه شده، و انواع مختلف این عملیات به همراه مزایا و معایب آن‌ها، مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین به بیان مشخصات پرتوهای لیزری نیز پرداخته شده است.

۱-۱- لیزر

لیزر اساساً یک پرتوی پیوسته‌ی همگرا از تابش‌های الکترومغناطیس، با طول موجی در بازه‌ی ماوراء بنفش تا مادون قرمز می‌باشد. لیزرها می‌توانند توان‌های خیلی پایین (mW) تا خیلی بالا ($1-100KW$) را بر روی مواد مختلف اعمال کنند.

پنج مشخصه‌ی اصلی پرتوی لیزری، که در تعیین نوع لیزر مورد استفاده برای یک کاربرد مشخص، نقشی اساسی دارند، عبارتند از: توان پرتو، طول موج، مود زمانی، مود فضایی و اندازه‌ی قطر کانونی.

توان لیزر، اصلی‌ترین مشخصه‌ی آن است. لیزر مورد استفاده بایستی توان لازم برای ماشین‌کاری ماده‌ی قطعه کار[2] را داشته باشد. مقدار توان لیزر، با توجه به خواص نوری و حرارتی ماده‌ی قطعه کار تعیین می‌شود، که ضریب جذب[3] سطح ماده بیشترین تأثیر را بر روی آن دارد. ضریب جذب، بخشی از انرژی لیزری تابیده شده را که در عمل جذب ماده می‌شود، تعیین می‌کند و باقی‌مانده‌ی انرژی آن

[1] Distortion
[2] Workpiece
[3] Absorptivity

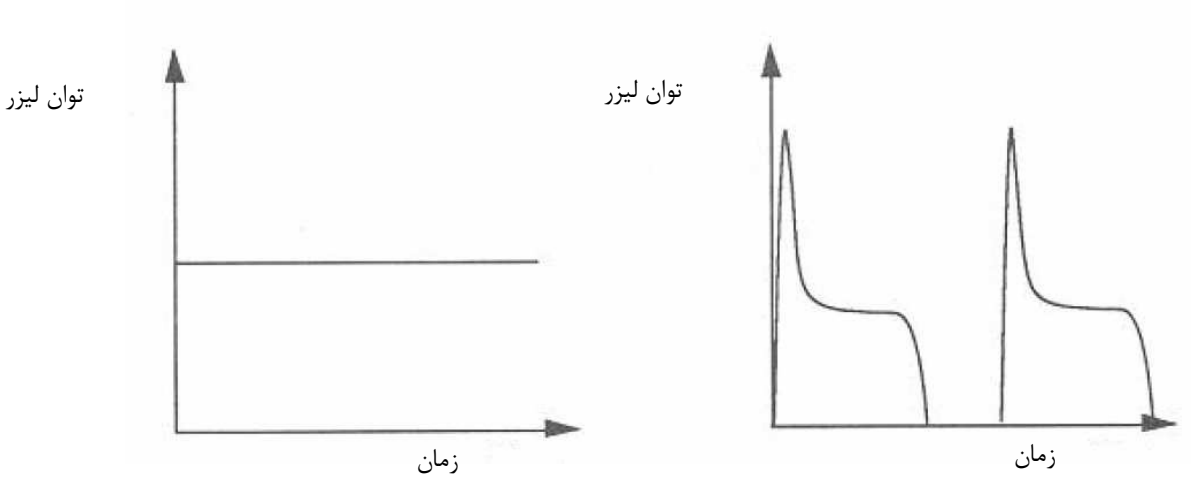
به محیط منعکس می‌شود. بنابراین مقدار مطلوب نرخ برداشت ماده[۴] از سطح قطعه کار، بایستی با توجه به میزان انرژی جذب شده تنظیم شود، و انرژی ورودی مبنای عمل مناسبی نخواهد بود. ضریب جذب، به طول موج پرتوی لیزری تابیده شده، زبری سطح، دما، فاز ماده، و استفاده از پوشاننده‌های سطح[۵] بستگی دارد.

یکی دیگر از مشخصات پرتوی لیزری طول موج آن می‌باشد. ضریب جذب ماده وابستگی زیادی به طول موج نور تابیده شده دارد. برای مثال، برخی فلزات از قبیل آلومینیوم و مس در طول موج $10.6\mu m$ (طول موج مشخصه‌ی لیزر CO_2) ضریب جذب پایینی دارند. بنابراین، برای ماشین‌کاری مؤثر این‌گونه مواد، بایستی لیزری با توان بالا و یا با طول موجی دیگر مورد استفاده قرار گیرد. ماشین‌کاری این مواد با استفاده از لیزر Nd: YAG (با طول موج $1.06\mu m$) به‌طور مؤثرتری صورت خواهد گرفت، که دلیل آن مقادیر بسیار بیشتر ضریب جذب مس و آلومینیوم است [۱].

همان طور که در شکل (۱- ۱) نشان داده شده است لیزرها دارای دو مود کاری موج پیوسته (CW[۶]) و پالسی می‌باشند.

در مود کاری موج پیوسته، پرتوی لیزری بدون هیچ‌گونه انقطاعی تابیده می‌شود، ولی در مود پالسی، پرتو به صورت متناوب است. افزایش صیقلی بودن سطح قطعه کار (پس از اتمام عملیات ماشین‌کاری)، از مزایای استفاده از مود پیوسته است. مود پالسی امکان ایجاد سوراخ‌هایی با عمق بیشتر در قطعه کار را فراهم می‌کند، هر چند که با کاهش صیقلی بودن سطح آن همراه است. در این حالت تمرکز انرژی در هر پالس، باعث کاهش اتلاف انرژی به صورت هدایت حرارتی در قطعه کار و یا به محیط اطراف می‌شود. در موادی از قبیل پلیمرها، که نسبت به دماهای بالا حساسیت دارند، برای کاهش میزان ناحیه‌ی متأثر از گرما[۷] در قطعه کار، از مود پالسی استفاده می‌شود. به دلیل ماهیت تناوبی این مود، سطح قطعه کار حالتی موجی خواهد داشت [۱].

[4] Material removal rate
[5] Surface coatings
[6] Continuous wave
[7] Heat affected zone



الف) پرتوی پیوسته ب) پرتوی پالسی

شکل (۱- ۱). مودهای زمانی پرتوی لیزری

یکی از مهم‌ترین پارامترها در ماشین‌کاری لیزری، مقدار توان تابیده شده بر واحد سطح می‌باشد. هر چه شعاع پرتوی لیزری کوچک‌تر باشد، مقدار این پارامتر بیشتر خواهد بود. کانونی کردن پرتوهای لیزری، مقادیر مورد نیاز این پارامتر را، برای ذوب و یا تبخیر هر گونه ماده‌ای فراهم می‌کند.

۱-۲- ماشین‌کاری لیزری

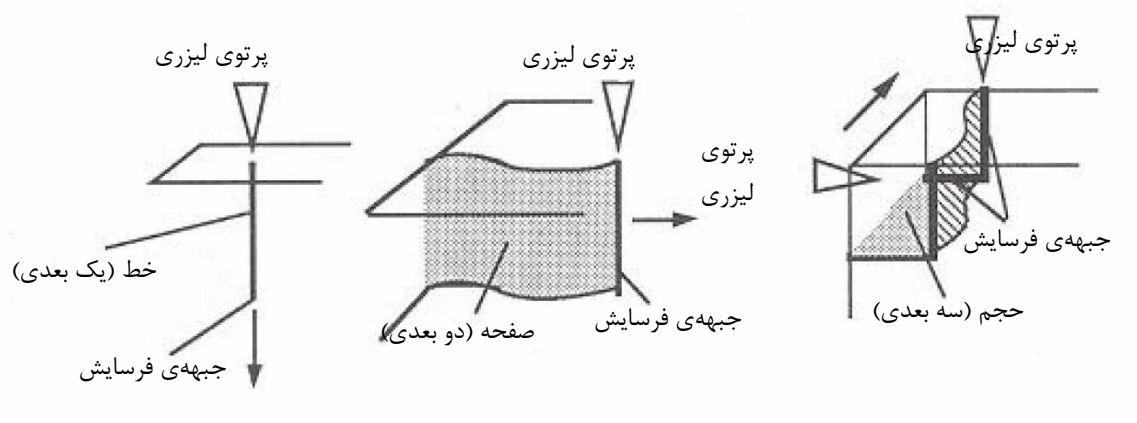
توانایی ایجاد صدها (و یا چندین هزار) سوراخ با ابعاد کوچک (در اندازه‌های میکرو) در یک قطعه کار، یکی از نیازهای امروزه‌ی صنایع است. این نیازها و هم‌چنین محدودیت‌های روش‌های متداول سوراخ‌کاری، منجر به تلاش برای جست‌وجوی روش‌های جدیدی شده است. برخی از این روش‌ها عبارتند از: ماشین‌کاری به روش تخلیه الکتریکی (EDM[۸])، ماشین‌کاری به روش الکتروشیمیایی (ECM[۹]) و ماشین‌کاری با استفاده از پرتوی لیزری (LBM[۱۰]).

[8] Electrical discharge machining
[9] Electrochemical machining
[10] Laser-beam machining

در روش ماشین‌کاری لیزری اغلب از دو نوع لیزر CO_2 و Nd: YAG[11] استفاده می‌شود که شدت انرژی آن‌ها، گاه به مقدار $3\times10^{10}\ w/in^2$ نیز می‌رسد. این میزان انرژی توانایی تبخیر هر نوع ماده‌ای را ایجاد می‌کند.

از اساسی‌ترین فاکتورها در فرآیند ماشین‌کاری لیزری، می‌توان به ضریب انعکاس[12] سطح، ضریب جذب، هدایت حرارتی، گرمای ویژه، پخش حرارتی، گرمای نهان ذوب، و گرمای نهان تبخیر ماده‌ی قطعه کار اشاره کرد. ماشین‌کاری لیزری فرآیندی سریع و با قابلیت کنترل آسان است که در آن هیچ گونه تماسی میان ابزار و قطعه کار وجود نداشته و بنابراین فرسایش ابزار در آن جایی نخواهد داشت.

همان‌طور که در شکل (۱- ۲) نشان داده شده است، ماشین‌کاری لیزری می‌تواند فرآیندی یک، دو و یا سه بعدی باشد. در حالت یک بعدی (سوراخ‌کاری)، پرتوی لیزری نسبت به قطعه کار ساکن است، اما در حالت دو بعدی (برش)، دارای حرکت می‌باشد که این حرکت در راستای عمود بر جهت تابش پرتوی لیزری بوده و صفحه‌ای دو بعدی را شکل خواهد داد. در ماشین‌کاری سه بعدی، از دو و یا چند پرتوی لیزری اسـتفاده می‌شود که هر پرتو با حرکت خود نسبت به قطعه کار، صفحه‌ای را تشکیل می‌دهد و تقاطع این صفحات منجر به شکل‌گیری حجم مورد نظر خواهد شد.



الف) ماشین‌کاری یک بعدی ب) ماشین‌کاری دو بعدی ج) ماشین‌کاری سه بعدی

شکل (۱- ۲). نمایی شماتیک از شیوه‌های ماشین‌کاری لیزری (یک، دو و سه بعدی)

[11] Neodimium-yttrium aluminum garnet
[12] Reflectivity

۱-۲-۱- مزایای ماشین‌کاری لیزری

از جمله مزایای استفاده از ماشین‌کاری لیزری، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- توانایی سوراخ‌کاری انواع مواد

۲- افزایش سرعت سوراخ‌کاری

۳- عدم وجود فرسایش ابزار

۴- توانایی ایجاد تعداد زیادی سوراخ در یک قطعه کار

۵- توانایی ایجاد سوراخ‌هایی با ابعاد کوچک (در اندازه‌های میکرو)

۶- توانایی ایجاد سوراخ‌هایی با نسبت بالای عمق به قطر

۷- توانایی ایجاد سوراخ‌های غیر دایره‌ای شکل

ماشین‌کاری لیزری فرآیندی بدون تماس[۱۳] است. انتقال انرژی میان پرتوی لیزری و ماده‌ی قطعه کار به صورت تابش صورت می‌گیرد، و بنابراین عیوب مکانیکی در قطعه کار القاء نمی‌شود و علاوه بر آن فرسایش و ارتعاشات ابزار نیز حذف خواهند شد.

میزان بالای انرژی پرتوهای لیزری امکان ایجاد سوراخ در سخت‌ترین مواد (از قبیل الماس، سرامیک‌ها و آلیاژهای به‌کار رفته در صنایع هوایی) را فراهم می‌آورد و با استفاده از این روش، حتی سطوح پوشش داده شده نیز قابل سوراخ‌کاری می‌باشند.

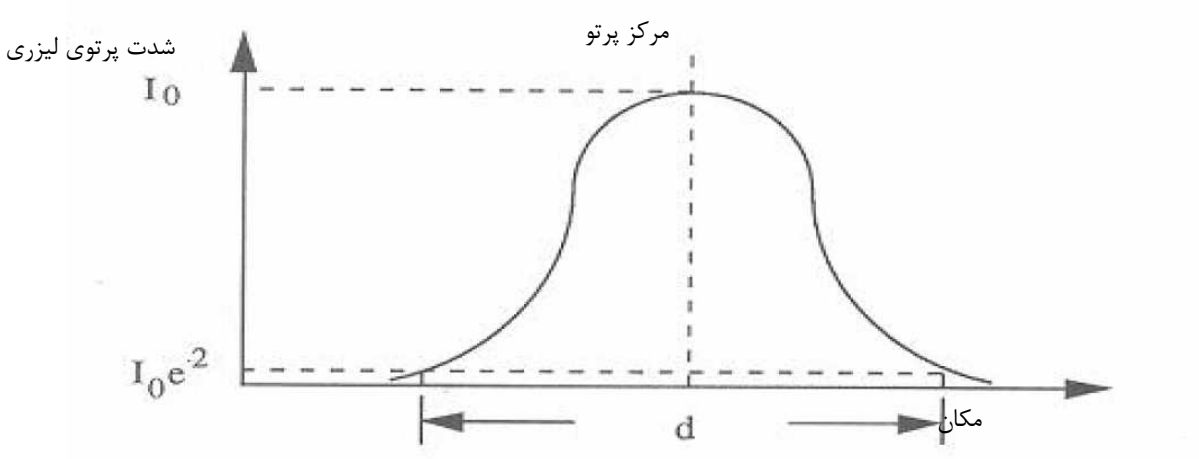
ماشین‌کاری لیزری فرآیندی حرارتی است. این فرآیند بیشتر تحت تأثیر خواص حرارتی و نوری[۱۴] ماده‌ی قطعه کار (نسبت به خواص مکانیکی آن) قرار می‌گیرد. بنابراین، ماشین‌کاری مواد سخت و شکننده ولی دارای خواص حرارتی مطلوب، با این روش مناسب‌تر است.

از دیگر مزایای ماشین‌کاری لیزری، می‌توان به عدم نیاز به وجود خلأ و یا محیط‌های کاری خاص (بر خلاف سایر روش‌های جدید ماشین‌کاری) اشاره کرد.

[13] Non-contact
[14] Optical

۱-۳- سوراخ‌کاری لیزری

در سوراخ‌کاری لیزری از پرتوی لیزر ساکنی برای ذوب و یا تبخیر ماده از سطح قطعه کار استفاده می‌شود. انرژی پرتوی تابیده شده دارای یک توزیع مکانی شدت می‌باشد که غالباً به صورت گاوسین[۱۵] است. شعاعی که در آن میزان شدت پرتوی لیزری به $1/e^2$ برابر شدت ماکزیمم آن (در مرکز پرتو) می‌رسد، به عنوان شعاع پرتوی لیزری در نظر گرفته می‌شود. به دلیل انواع اتلاف حرارتی موجود در فرآیند سوراخ‌کاری (شامل هدایت حرارتی به بخش داخلی قطعه کار و اتلاف به محیط اطراف)، ممکن است قطر سوراخ ایجاد شده کمتر از شعاع پرتوی لیزری باشد. همان‌طور که در شکل (۱-۳) نشان داده شده است، d قطر پرتوی لیزری می‌باشد.



شکل (۱- ۳). توزیع فضایی شدت پرتوی لیزری

سوراخ‌کاری موادی از قبیل سرامیک‌ها، ممکن است منجر به تشکیل فاز پلاسما شود. اغلب ابر تیره‌ای از ماده‌ی تبخیر شده در ناحیه‌ی سوراخ شکل می‌گیرد، که بخشی از انرژی پرتوی لیزری را جذب کرده، و با افزایش دما وارد فاز پلاسما می‌شود. استفاده از یک گاز کمکی که بخار شکل گرفته را از مسیر پرتوی لیزری خارج کند، می‌تواند مانع از وقوع این امر شده و در بهبود کیفیت سوراخ‌کاری مؤثر باشد.

[15] Gaussian