



جامعة الشيخ عبد الله البدرى
كلية الهندسة



قسم الهندسة الميكانيكية

استخدامات أشعة الليزر في الصناعة
(Uses of Lasers Beams in Industry)

بحث مقدم للاستيفاء الجزئي للحصول على درجة بكالوريوس الشرف في الهندسة الميكانيكية

إعداد الطالب:

محمد عادل علي عبد الرحيم

محمد عمر محمد صديق

محمد عمر محمد علي

إشراف الدكتور

عماد محمود

ديسمبر 2024م

قال تعالى:

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنْزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتَابَ
وَالْمِيزَانَ لِيَقُومَ النَّاسُ بِالْقِسْطِ وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ
بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنْفَعٌ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَنْ يَنْصُرُهُ وَرُسُلَهُ
بِالْغَيْبِ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ ﴿٢٥﴾

سُورَةُ الْحَدِيدِ

شُكْرٌ وَعِزٌّ فَإِنَّ إهداء

DEDICATION

قال تعالى: (قل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون) إلهي لا يطيب الليل إلا بشركك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك .. ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك. ولا تطيب الجنة إلا برويتك

الله جل جلاله

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة .. ونصح الأمة .. إلى نبي الرحمة ونور العالمين

سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار .. إلى من علمني العطاء بدون انتظار .. إلى من أحمل اسمه بكل افتخار ..

والدي العزيز

إلى ملاكي في الحياة .. إلى معنى الحب وإلى معنى الحنان والتفاني .. إلى بسملة الحياة وسر الوجود

إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي إلى أغلى الحبايب

أمي الحبيبة

إلى منارة العلم والعلماء إلى الصرح الشامخ ...

جامعة الشيخ عبد الله البدري

كلية الهندسة

إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة إلى الذين مهدوا لنا

طريق العلم والمعرفة

أساتذتنا الأفاضل...

إلى رفقاء الدرب...

(Acknowledgement)

الحمد لله الذي وفقنا وأعاننا على إتمام هذا البحث، والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين، سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين .

أتقدم بخالص الشكر والتقدير لكل من ساهم في إنجاز هذا البحث المتواضع .

نخص بالشكر المشرف : دكتور **عماد محمود** الذي نشكره على توجيهاته السديدة ودعمه المتواصل الذي كان له الأثر الكبير في إتمام هذا البحث .

إلى أسرتي العزيزة

كلمات الشكر تعجز عن التعبير عن امتنان قلبي لدعمكم الدائم وصبركم الذي كان دافعا لي لتحقيق هذا الإنجاز .

إلى زملائي وأصدقائي .

شكرا لوقوفكم بجانبني ومساعدتي خلال مسيرتي العلمية.

إلى كل أستاذ وطالب شارك في تقديم المعلومة أو التوجيه.

أقدر جهودكم التي ساهمت في إثراء معرفتي ودعمي العلمي.

أسأل الله أن يجعل هذا العمل نافعا ومفيدا، وأن يوفقنا جميعا لما يحبه ويرضاه.

الفهرس

1.....	آية قرآنية
2.....	إهداء
3.....	(Acknowledgement)
6.....	الفصل الأول
7.....	المقدمة :
8.....	تصنيف الصناعات:
9.....	أهمية القطاعات في تطوير الدولة:
10.....	1. تعريف الليزر وخصائصه:
11.....	خصائص أشعة الليزر :
14.....	مكونات الليزر وآلية عمله:
14.....	مكونات الليزر الأساسية:
14.....	آلية عمل الليزر
16.....	Source Pumping مصدر الضخ
16.....	تمتاز ليزرات الحالة السائلة بما يلي:
16.....	عيوب أو مساوئ ليزرات الحالة السائلة:
17.....	الوسط الفعال Medium Active
20.....	أنواع الليزرات المستخدمة في الصناعة من حيث:
21.....	الفصل الثاني
22.....	استخدامات الليزر :
22.....	1- الطب - :الجراحة الليزرية:
23.....	2- الصناعة - :القطع والنقش:
23.....	3- الاتصالات - :الألياف الضوئية:
24.....	4- البحث العلمي - :الفيزياء والكيمياء:
24.....	5- العسكري - :الأسلحة الليزرية:
26.....	6- الإلكترونيات الاستهلاكية - :الأقراص الضوئية:
26.....	7- التطبيقات البيئية - :مراقبة التلوث:
26.....	8- الزراعة - :التحكم في الآفات:
27.....	9- الترفيه والفنون - :العروض الضوئية:
27.....	10- البناء والهندسة - :المسح الليزري:
29.....	11- الأمن والمراقبة - :أنظمة الإنذار:
31.....	12- التعليم والتدريب - :التدريس:
31.....	13- النقل - :السيارات ذاتية القيادة:
31.....	14- علم الفضاء - :الأبحاث الفضائية:

31	15- البيئة والطاقة - :التعدين:
31	16- الطب الشرعي - :تحليل الأدلة:
32	الفصل الثالث
33	مفهوم القطع بالليزر وآلية عمله:
34	الأجهزة المستخدمة في القطع:
36	كيفية إتمام عملية القطع بالليزر:
37	استخدامات أشعة الليزر للقطع في صناعة السيارات:
38	اللحام بالليزر في الصناعة:
38	آلية عمل اللحام بالليزر:
39	أنواع اللحام بالليزر:
39	استخدامات اللحام بالليزر في الصناعة:
40	مزايا اللحام بالليزر:
40	التحديات والعيوب:
41	مستقبل اللحام بالليزر:
41	اللحام بالليزر في صناعة السيارات:
42	أنواع الليزر المستخدمة في لحام السيارات:
42	مزايا اللحام بالليزر في صناعة السيارات:
42	أمثلة على تطبيقات اللحام بالليزر في السيارات:
43	التنظيف بالليزر:
43	آلية عمل التنظيف بالليزر:
43	تطبيقات التنظيف بالليزر:
44	مزايا التنظيف بالليزر:
44	عيوب التنظيف بالليزر:
45	استخدامات مستقبلية للتنظيف بالليزر:
46	الفصل الرابع
47	المقارنة
53	الفصل الخامس
54	الخاتمة
54	التوصيات:
55	المراجع: REFERENCES

الفصل الأول

المقدمة :

مفهوم الصناعة تُعرّف الصناعة لغوياً بأنها جرفة الصانع، وهي كلّ علم أو فنّ يُمارسه الإنسان حتّى يكون ماهراً فيه ويُصبح حرفةً له، أمّا الصناعة كمفهوم فهي مجموعة من المؤسسات أو المُنظّمات التي تعمل في إنتاج أو تصنيع أو التعامل مع نفس النوع من السلع والخدمات، وهي مجموعة من الأنشطة الاقتصادية الثانوية التي تُحوّل المواد الأولية إلى منتجات ذات قيمة أكبر للناس.

تطور الصناعة بدأت الثورة الصناعية في القرن 18 عندما تحوّلت المجتمعات الزراعية إلى مجتمعات صناعية وحضرية، إذ تحوّل الاقتصاد من اقتصاد يعتمد في الأساس على الزراعة والحرف اليدوية إلى اقتصاد يعتمد على الصناعة والآلات، وبدأ بهذا التغيّر في بريطانيا ثم انتشر إلى أجزاء أخرى من العالم، وبالرغم من أنّ الكتّاب الفرنسيين استخدموا مصطلح الثورة الصناعية في السابق إلاّ أنّه انتشر بشكل واسع بعد أن استخدمه المؤرخ الاقتصادي الإنجليزي أرنولد توينبي لأول مرّة في وصف التنمية الاقتصادية في بريطانيا من عام 1760م إلى عام 840م، ومع قيام الثورة الصناعية بدأت الصناعات الحديثة بالظهور وذلك بفضل الاختراعات والآلات الجديدة التي قامت بإنجاز الأعمال بكفاءة أكبر مقارنةً بالأشخاص الذين كانوا يقومون بها في السابق. توالى الثورات الصناعية منذ ذلك الوقت وتمايزت عن بعضها البعض، ويُمكن توضيحها كما يأتي:

الثورة الصناعية الأولى 1765م:

بدأت الثورة الصناعية الأولى في أعقاب فترة التصنيع الأولى في نهاية القرن الـ 18 وحتّى بداية القرن الـ 19، وكانت أكبر التغيرات هي الأتمتة التي عملت على استبدال الزراعة بالصناعة باعتبارها العمود الفقري للاقتصاد المجتمعي، كما شهدت هذه الفترة استخراج كمّيّات كبيرة من الفحم واستخدامه كمصدر للطاقة، واختراع المحرك البخاري الذي يُعدّ أمراً مهماً، إذ كان السبب في إنشاء نوع جديد من الطاقة التي ساعدت فيما بعد على تسريع تصنيع خطوط السكك الحديدية وبالتالي تسريع حركة الاقتصاد ككلّ.

الثورة الصناعية الثانية 1870م:

بدأت الثورة الصناعية الثانية بعد قرن تقريباً من الثورة الأولى أيّ في نهاية القرن 19م، وتميّزت هذه الثورة بتطوّرات تكنولوجية كبيرة في مجال الصناعات والتي أدّت إلى ظهور مصادر جديدة للطاقة من الكهرباء، والغاز، والنفط، وكان من أهم إنجازات هذه المرحلة اختراع محرك الاحتراق الداخلي، بالإضافة إلى تطوير طرق الاتصال، مثل: التلغراف والهاتف، وأخيراً اختراع السيارات والطائرات في بداية القرن العشرين ممّا جعل الثورة الصناعية الثانية هي الأهمّ حتّى يومنا هذا.

الثورة الصناعية الثالثة 1969م:

بدأت هذه الثورة مع ظهور مصدر آخر للطاقة غير المُستغلّة حتّى ذلك الوقت؛ أيّ في النصف الثاني من القرن 20م وهي الطاقة النووية، وأدّت الثورة الثالثة إلى ظهور الإلكترونيات، والاتصالات السلكية واللاسلكية، وأجهزة الحاسوب، كما ساهمت هذه التقنيات الحديثة في فتح الأبواب أمام الرحلات الفضائية، والأبحاث، والتكنولوجيا الحيوية، وقد ساعد اختراع جهاز التحكم المنطقي قابل للبرمجة (بالإنجليزية: Programmable Logic Controllers)، واختراع الروبوتات على جعل هذه المرحلة مرحلة أتمتة عالية المستوى.

الثورة الصناعية الرابعة:

تُعبّر الثورة الصناعية الرابعة أو كما تُسمّى الصناعة 4.0 ثورةً صناعيةً تحدث الآن ولا يزال حجمها غير معروف، بدأت الصناعة 4.0 في مطلع الألفية الثالثة باختراع الإنترنت، ويُشار إلى تطوّر عوالم الواقع الافتراضي في هذه الثورة ممّا يفتح مجالات أخرى لفهم وتطوير قوانين الفيزياء.

تصنيف الصناعات:

تُصنّف الصناعات إلى العديد من الأقسام، ومن أبرزها ما يأتي:

المواد الخام: تُقسّم الصناعات حسب المواد الخام التي تستخدمها إلى ما يأتي:

الصناعات القائمة على الزراعة: تستخدم هذه الصناعات النباتات، والمنتجات الحيوانية، كمواد خام في عملية التصنيع.

الصناعات البحرية: تكون المواد الخام الداخلة في هذه الصناعات مواد مُستخرجة من البحار والمحيطات.

الصناعات القائمة على الغابات: تستخدم هذه الصناعات المواد الخام من الغابات مثل الخشب.

الحجم: يُقاس حجم الصناعات من خلال مقدار الأموال المُستثمرة، وعدد الموظفين، والسلع المنتجة، وتُقسّم الصناعات وفقاً للحجم إلى ما يأتي:

الصناعات الصغيرة: تُعدّ رؤوس الأموال المُستثمرة في هذا النوع من الصناعات قليلة، إضافةً إلى محدودية استخدام التكنولوجيا، مثل الحرف اليدوية.

الصناعات الكبيرة: تكون رؤوس الأموال المُستثمرة في هذا النوع من الصناعات كبيرة، إضافةً إلى استخدام التكنولوجيا المُتقدّمة.

الملكية: تُصنّف الصناعات حسب ملكيتها إلى ما يأتي:

القطاع الخاص: يتضمّن هذا القطاع الصناعات الخاصّة؛ وهي شركات يملكها ويُديرها فرد أو مجموعة من الأفراد.

القطاع العام: ويُمثّل الصناعات العامّة التي تمتلكها وتُديرها الحكومة.

صناعات القطاع المشترك: يتمّ تشغيل هذه الصناعات بشكل مُشترك من قِبل الدولة والأفراد.

صناعات القطاع التعاوني: يتمّ تشغيلها من قِبل مُوردي، أو مُنتجي، أو عمّال المواد الخام.

أهمية القطاعات في تطوير الدولة:

تظهر أهمية القطاعات في تطوير الدولة من خلال الآتي:

تستخدم الموارد البشرية والطبيعية على نحو مناسب، وذلك عن طريق توظيف واستهلاك المصادر الطبيعية بالطريقة المناسبة من قبل هذه القطاعات.

تساعد حل مشكلة البطالة؛ لأن تطوير قطاعات الصناعة يحتاج إلى الموارد البشرية وبالتالي ارتفاع نسب التوظيف فيها.

تساهم في تحسين عوائد الدخل القومي للدولة بالإضافة إلى تحسين معدل دخل الأفراد وتمكينهم على الادخار.

يساهم قطاع الصناعة في دعم وتطوير القطاعات الاقتصادية الأخرى، وذلك عندما تجمع الصناعات المواد الخام بهدف تحويلها إلى المنتجات، الأمر الذي يساعد على تطوير الأسواق التي تعتمد على

تلك المواد الخام، مما يؤدي إلى تنويع الاقتصاد وتعزيز التجارة الخارجية.

تساعد الصناعات في تطوير القطاعات الرئيسية والاستراتيجية المختلفة في الدول، ومنها قطاع النقل والطاقة والبناء وغيرها بالإضافة إلى المساهمة في توفير الإيرادات الحكومية من خلال جمع الضرائب المترتبة على استخدامها في إنشاء البنى التحتية.

تحقق الاستقلال الاقتصادي على نحو أكبر؛ إذ يساعد إنتاج السلع الأساسية المحلية في تقليل الاعتماد على استخدام الواردات الخارجية مع المحافظة على عملية التبادل التجاري الدولي الأخرى.

توفر الاستقرار الاقتصادي للدولة التي لا تعتمد على قطاع واحد وذلك من خلال تحقيق التوازن بين القطاعات الرئيسية في الاقتصاد وبالتالي المساهمة في تنمية الدولة.

تحقق الاكتفاء النقدي للدولة وزيادة الاحتياط النقدي للدولة، وذلك عند زيادة القطاعات

الصناعية، فإن الأرباح الناتجة ستزداد وسيرتفع معدل صادرات الدولة مقارنةً بانخفاض معدل الواردات من الخارج.

تساهم في استغلال الموارد الطبيعية الموجودة في الدولة مثل الأراضي والمعادن التي لا يمكن الاستفادة منها في القطاعات الزراعية أو المالية، وبالتالي تساهم التنمية الصناعية لهذه الموارد في تحقيق الفائدة النقدية للدولة.

يؤقر التطور الصناعي الدعم لعدة قطاعات أخرى في الدولة منها الزراعة والدفاع والاقتصاد وغيرها، فعلى سبيل المثال توفر الصناعة الآلات المتطورة والحديثة مثل الجرارات لقطاع الزراعة، وتزود الصناعة الدولة بالأسلحة والذخيرة اللازمة لقطاع الدفاع من أجل توفير الحماية لها من المخاطر، بالإضافة إلى تحسين كافة القطاعات الأخرى مثل النقل والتمويل والاتصالات وغيرها بهدف توفير البنى التحتية المناسبة للدولة.

تساهم التنمية الصناعية في تحقيق النمو السريع للدولة وذلك من خلال تحسين الاستثمار ومعدل

الإنفاق وبالتالي زيادة دخل الأفراد ورفع مستوى المعيشة.

نعلم جميعاً أن الضوء هو عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية مختلفة في التردد ما يجعلها ذات ألوان مختلفة تحمل طاقة ضعيفة تستخدم في العديد من المجالات الحياتية اليومية كإضاءة المنازل والشوارع ولكن الليزر هو نوع من أنواع هذا الضوء لكنه يختلف عنه بالعديد من الصفات التي جعلته يتمتع بالعديد من الخصائص والتي حولته إلى إشعاع قوي يحمل طاقه هائلة مقارنة بالطاقة الضوئية العادية. لذلك استخدم الإنسان هذا الشعاع في العديد من المجالات الحياتية حيث سمح له بتبسيط وتسهيل العديد من الأعمال المعقدة مما يجعله يحقق ثوره في جميع العلوم والتطبيقات الأخرى.

1. تعريف الليزر وخصائصه:

الليزر: هو تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المستحث للإشعاع الكهرومغناطيسي.

قد جاءت تسمية كلمة LASER من الحرف الأولي لفكرة عمل الليزر والمتمثلة في الجملة الآتية:

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Light Amplification	وتعني تضخيم الضوء
Stimulated Emission	بواسطة الانبعاث المستحث
Radiation	الإشعاع الكهرومغناطيسي

خصائص أشعة الليزر :

لليزر خصائص عديدة تجعله شعاعا قويا عالي الطاقة وهي:

• الترابط :

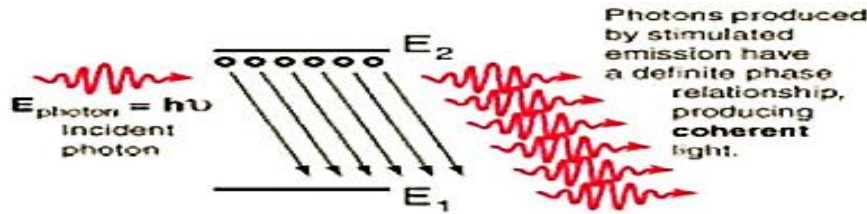
الترابط بين موجات الحزمة الواحدة عالي جدا ومتزامن وهذا يساعد الموجات الضوئية هاو الفوتونات في تقويه بعضها البعض لتعطي طاقة وقدره عالية للحزمة الواحدة وهذا الترابط هو ما يميز ضوء الليزر ويبرز هذا الترابط عند حدوث الانبعاث المستحث الذي يعد عامل أساسيا في التكبير للضوء بحيث أن الفوتونات المنبعثة لها فرق طور محدد ومتوافق مع بعضها وهذا الترابط يوصف على انه ترابط زمني وترابط مكاني وكلاهما مهم.

الترابط المكاني:

يسمي أحيانا بالترابط العرضي، وهو في أشعة الليزر كبير أي أن النقاط التي تقع على مسافة معينة بضع مليمترات بعضها عن بعض وعديدة على منحنى الانتشار تكون متفقة في الطور ويمكنها أن تولد ظواهر تداخل بخلاف ما يحدث في المنابع الضوئية الأخرى، تعتبر أشعة الليزر اشد الأشعة المعروفة ترابطا مكانيا ويؤثر الترابط المكاني في أشعة الليزر على شدتها وعلى انفرجها الزاوي.

الترابط الزمني:

يحدث عندما يكون فرق الطور في أي لحظة من الزمن بين نقطتين من صدر الموجة أشعة الليزر منعما والترابط عالي جدا بين موجات حزمة الليزر مما يساعدها على تقوية بعضها مما يعطي الحزمة قوة وطاقة عالية وهذا الترابط يتحقق عندما يكون هناك فرق طور محدد ومتوافق بين الفوتونات وبعضها البعض كما موضح في الشكل التالي.



توازي الحزم الضوئية:

وهذا يعني أن التشتت أو التفريق في الحزمة يكون معدوما، كما أنها بطبيعتها مركزة دون الحاجة لاستخدام عدسات، وقطرها قد يصل إلى أقل من قطر الدبوس، ويمكنها أن تنتقل إلى مسافات طويلة بفقد قليل في الطاقة خصوصا إذا انعدم مواد ممتصة في مسارها.

• الشدة الضوئية:

شدة شعاع الليزر عالية ومركزة في حزمة ذات قطر ضيق لا يتجاوز الواحد مليمتر، وعند استخدام البصريات الملائمة يمكن تعريضها وفق الحاجة بالإضافة الي إننا نستطيع تركيزها في بقعه صغيره تمتلك قدرة كثافية هائلة وهي القدرة في وحدة المساحات.

• أحادي اللون:

إن ضوء الليزر هو ضوء أحادي اللون لأن موجاته لها نفس التردد تقريبا ضمن مجال طيفي ضيق جدا يسبب إصدار ضوء على درجة عالية من النقاء الطيفي وهذا يعطي ضوء محدد لضوء الليزر، أي أن الفوتونات تنبعث من انتقال الذرات من مستوي الطاقة الأعلى إلى مستوي الطاقة الأقل، لذلك فوتونات الليزر متساوية الطاقة وبالتالي هناك قيمة واحدة للطول الموجي مما يعني لون واحد. أن تردد الفوتونات المحفزة والفوتونات المنبعثة من سقوط الذرات من مستوي الطاقة الأعلى إلى مستوي الطاقة الأدنى متساوي أي بنفس الطول الموجي.



مصدر ضوء الليزر أحادي اللون

• الاتجاهية:

يتمتع شعاع الليزر بدرجة عالية جدا من الاتجاهية بدون مساعده من مرايا أو عدسات وهذا لا يتوفر في المصادر الضوئية العادية ولذا يعرف شعاع الليزر بان له ادنى تفريق زاوي أثناء انتشاره. وتحدث الاتجاهية نتيجة لوجود المرايا المتوازية على حافتي التجويف الرنانة فالموجات المنتشرة في اتجاه مختلف عن اتجاه محور التجويف وتخرج منها بسرعة دون ان تكتسب شدة كبيرة أما الموجات المنتشرة باتجاه مواز لاتجاه المحور فإنها بذهابها وإيابها داخل التجويف تمر بعدة مراحل داخل الوسط المضخم قبل ان تخرج من جهاز الليزر بشدة كبيرة وباتجاه محدد هو اتجاه محور التجويف، وان مساحة مقطع حزمة شعاع الليزر أقل من سنتيمتر مربع وتشتت أطراف الشعاع في الحزمة المتوازية أقل من نصف درجة.

ويمكن حساب الانفرج الزاوي للشعاع الخارج من جهاز الليزر من العلاقة:

$$\varphi = \frac{1.27 \lambda}{D}$$

حيث:

λ الطول الموجي لشعاع الليزر ، D قطر الشعاع عند موضع خروجه من الجهاز

2. مفهوم الانبعاث التلقائي والمستحث للفوتونات:

تتفاعل المادة مع الاشعاع الساقط عليها بثلاث عمليات أساسية وهذه العمليات هي مبدأ توليد أشعة الليزر.

2.1 الامتصاص التلقائي للفوتونات:

هو عملية اكتساب الذرة لطاقة فوتونات ضوئية تكفي لنقل الذرات من مستوي طاقة منخفض E1 الي مستوي طاقة اعلي E2 .



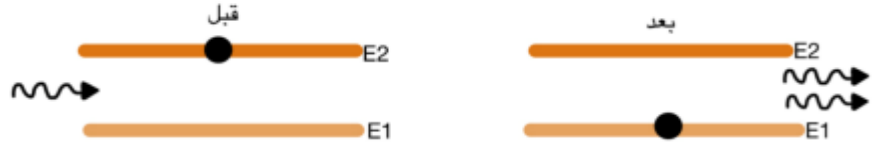
3.2 الانبعاث التلقائي للفوتونات:

هو عملية انبعاث أشعة مختلفة في الطور والاتجاه من الذرات المثارة عند عودتها الي حالتها المستقرة في مستوي طاقة منخفض E1 بصورة تلقائية بدون أي مؤثر خارجي يؤثر عليها.



3.3 الانبعاث المستحث للفوتونات:

هو عملية انبعاث فوتونات من الذرات بحيث تكون متفقة في الطور والاتجاه مع الفوتون الذي يحثها علي العودة من المستوي الأعلى E2 الي المستوي المنخفض E1 قبل انتهاء زمن بقائها في حالة اثاره .



والجدول التالي يوضح مقارنة بين الانبعاث التلقائي ولانبعاث المستحث للفوتونات.

الانبعاث المستحث	الانبعاث التلقائي	
يحدث عندما تنتقل الذرات المثارة من مستوي الاثارة الي مستوي اخر اقل منه في الطاقة وتشع الفرق بين طاقتي المستويين في شكل فوتونات وذلك بتأثير تفاعلها مع فوتونات اخري خارجية لها نفس طاقة الفوتونات المنطلقة وذلك قبل انتهاء زمن بقائها في حالة اثاره.	يحدث عندما تنتقل الذرات المثارة من مستوي الاثارة الي مستوي اخر اقل منه في الطاقة وتشع الفرق بين طاقتي المستويين في شكل فوتونات تلقائيا بدون أي مؤثر خارجي وذلك بعد انتهاء زمن بقائها في الحالة المثارة.	كيفية الحدوث
هذه العملية اساسية من أجل توليد أشعة ليزر	هذه العملية موجودة في المصابيح وأنابيب الفلورسنت	أين توجد هذه العملية
يتم في الليزر عملية انقلاب سكاني للذرات	لا يوجد انقلاب سكاني للذرات	الأساس العلمي

الترابط	اشعاع غير مترابط	اشعاع مترابط
وجود المؤثرات الخارجية	لا يوجد مؤثرات خارجية مطلوبة.	من الضروري وجود مؤثرات خارجية مثل الفوتون لتحفيز عملية الانتقال المستحث للفوتونات.
		

4. مكونات الليزر وآلية عمله:

إن العنصر الليزري الأساسي الذي يحمل في طياته القدرة على النفاذ في أغوار المواد سواء كانت صلبة، سائلة أو غازية لتسخين زارته وجزئياتها وحث كل منهم لإنتاج شعاع فريد في صفاته الفيزيائية وحيد في مميزاته التطبيقية فائق الجودة في خواصه يتألف من كمات ضوئية تسمى بالفوتونات ذات ترددات أو أطوال موجية معتمدة على نوع المادة المستحثة (المثارة).

4.1 مكونات الليزر الأساسية:

يتكون جهاز توليد أشعة الليزر من ثلاث مكونات أساسية:

● الوسط الفعال Active Medium

هو المادة الفعالة لإنتاج شعاع الليزر وقد يكون الوسط الفعال بلورات صلبة مثل الياقوت أو اصباح سائلة أو غازية مثل غاز ثاني أكسيد الكربون أو الهيليوم _ نيون أو قد يكون الوسط الفعال أشباه موصلات.

● التجويف الرنيني Cavity Resonator

هو الوعاء الحاوي المادة الفعالة والمنشط المسؤول عن عملية التكبير وهو عبارة عن مرآتين متقابلتين مستويتين أحدهما تعاكس والأخرى 100% تعاكسه اقل من 100%.

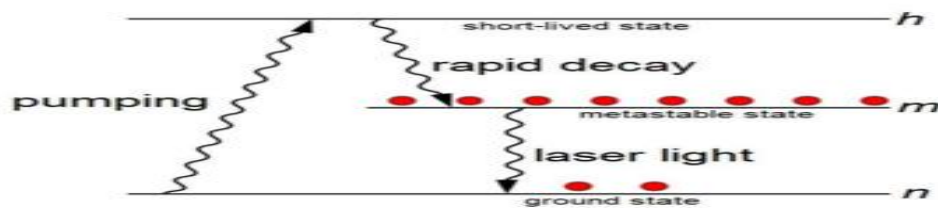
4.1 آلية عمل الليزر

لإنتاج ضوء الليزر , يجب أن تكون معظم الذرات الموجودة لدينا في حالة مثارة . وتسمى هذا (الانقلاب السكاني), لأنه عكس الطريقة التي ترتب بها ذرات في المادة عادة . من المعتاد ان يكون أكبر عدد ممكن من الذرات في الحالة الأرضية . لكن لدينا هنا العكس , لأننا نستخدم طاقة لرفع طاقة الذرات . ويمكن إنتاج الانقلاب السكاني في الليزر من خلال اليتين أساسيتين , إما عن طريق تكوين فائض من الذرات في حالة طاقة أعلى , أو عن طريق تقليل عدد الذرات في حالة طاقة أقل . وتتمثل الطريقة الأكثر شيوعا لإنتاج الانقلاب السكاني في وسط ليزر في اضافة طاقة الي النظام من اجل اثاره الذرات الي مستويات طاقة اعلي . إن مجرد إضافة الطاقة عن طريق التسخين الحراري للوسط ليس كافيا (في ظل التوازن الديناميكي الحراري) لإنتاج الانقلاب السكاني لأن الحرارة تزيد فقط من متوسط طاقة الذرات , ولكنها لا تزيد عدد الأنواع في الحالة المثارة لتلك الموجودة في الحالة الأرضية .

ويجب إثارة الذرات بشكل انتقائي لمستويات طاقة معينة . ويعتبر الضوء والكهرباء هما اليتا الإثارة المفضلة لمعظم أنواع الليزر . يمكن أن يوفر الضوء اللازمة لإثارة الذرات إلي مستويات طاقة أعلى مختارة , ولا يلزم نقل الطاقة لتعزيز الذرات مباشرة إلي مستوي أعلى معين . قد تكون بعض الأساليب معقدة نوعا ما , ولكنها غالبا ما تنتج ليزر أفضل أداء . أحد الأساليب المستخدمة بشكل

متكرر هو إثارة الذرة أو الجزيء إلى مستوى طاقة أعلى من المطلوب ، وبعد ذلك ينخفض إلى مستوى الليزر العلوي . يمكن استخدام الإثارة غير المباشرة لإثارة الذرات في خليط الغازات المحيط .

وبشكل مبسط يمكن القول بأن الانقلاب السكاني هو الحالة التي يكون فيها عدد الذرات في مستوى طاقة أعلى أكثر من تلك الموجودة في مستوى طاقة أقل بشكل عام، وفي الانبعاث المستحث نحتاج إلى عدد أكبر من الذرات في حالة الإثارة لذلك تضخ الذرات من مستوى الطاقة أقل إلى مستوى طاقة أعلى وتنتقل الذرات إلى مستوى طاقة شبه مستقر (ذو عمر أطول) وبعد ذلك يحدث الانبعاث المستحث بين هذه الحالة الشبه مستقرة والحالة الأرضية كما هو موضح بالشكل التالي.



الانبعاث المستحث

وهذا الشعاع قد يكون مرئيا للإنسان أو غير مرئي مستمر التدفق أو متقطع. وبعد انعكاس شعاع الليزر داخل الوسط عدة مرات تصل الموجات الضوئية المجمعة إلى وضع اتزان وتتميز أيضا بانتظام طورها وتخرج كشعاع ليزر شديد الطاقة وتسمح لنا أشعة الليزر باستخدام الطاقة الناتجة عن انبعاث الذرات في إنتاج أشعة ضوئية.

5.1 أنواع الليزر

يصنف الليزر عموما وفقا للمادة التي يطلق عليها الوسط الفعال الذي يستخدمه لإنتاج ضوء الليزر .

هناك ثلاثة أنواع رئيسية من الليزر هي

1. ليزرات الحالة الصلبة .
2. ليزرات الحالة السائلة .
3. ليزرات الحالة الغازية .

1. ليزرات الحالة الصلبة :

يتكون ليزر الحالة الصلبة من الوسط الفعال ومصدر الضخ ومجهز القدرة والأجزاء الملحقة .

الوسط الفعال Active Medium

وهو عبارة عن بلورة من مادة صلبة يتم إدخال أيونات فعالة فيها لغرض توليد الليزر، ومن أكثر بلورات الليزر الشائعة هي الياقوت ، ويعتبر ليزر أشباه الموصلات من ليزرات الحالة الصلبة ولكنه لا يستخدم بلورة وإنما تراكيب من أشباه الموصلات ويتم ضخها بواسطة التيار الكهربائي .

مصدر الضخ Source Pumping

يستخدم في الغالب المصباح الوميضي (Lamp Flash) إذ يتم تسليط جهد كهربائي بين طرفي المصباح الوميضي فينتج أشعة ضوئية تمتصها بلورة الوسط الفعال لتثار. يمكن أن يتم ضخ بلورة الوسط الفعال باستخدام شعاع ليزر آخر مثل ليزر أشباه الموصلات وهذه الطريقة تكون ذات كفاءة أعلى من طريقة الضخ بالمصباح الوميضي.

هو دائرة كهربائية تقوم بتجهيز المصباح الوميضي بالقدرة اللازمة لتشغيله . يمكن أن يعمل مجهز القدرة بشكل نبضي (Pulsed) أو بشكل مستمر وهذا يؤثر علي نمط تشغيل الليزر .

5.2 ليزرات الحالة السائلة :

يتكون ليزر الصبغة من الوسط الفعال ومصدر الضخ ومجهز القدرة والأجزاء الملحقة .

الوسط الفعال Active Medium

هو عبارة عن صبغة عضوي Organic Dye مذابة في محلول مناسب مثل الماء أو الكحول الأيثيلي وغيرها .

مصدر الضخ Pumping Source

يستخدم المصباح الوميضي كما في ليزرات الحالة الصلبة . يمكن أن يتم ضخ الوسط الفعال باستخدام شعاع ليزر آخر مثل ليزر بخار النحاس (Cu- Laser vapor) وهذه الطريقة تكون ذات كفاءة أعلى من طريقة الضخ بالمصباح الوميضي .

تمتاز ليزرات الحالة السائلة بما يلي:

1. إمكانية الحصول على حزمة عريضة من الأطوال الموجية لليزر وهذا يسمى التنعيم .
2. سهولة تكوين الوسط الفعال (إذابة الصبغة في المحلول) .
3. إمكانية تغيير تركيز الصبغة بسهولة (تقليله بتخفيف المحلول أو زيادته بتركيز المحلول) .
4. لا توجد عيوب بلورية .
5. سهولة عملية التبريد من خلال تحريك المحلول.

عيوب أو مساوئ ليزرات الحالة السائلة:

1. عدم الاستقرار بسبب حركة السائل.
2. يمكن أن يسبب المذيب إلى منع توليد الليزر.
3. تتأثر بالحرارة بشكل كبير جدا.
4. تتحلل الصبغة عند تعرضها إلى الضوء.

5.3 ليزرات الحالة الغازية:

يتكون الليزر الغازي من الوسط الفعال ومصدر الضخ (مجهز القدرة) والأجزاء الملحقة .

الوسط الفعال Medium Active

هو عبارة عن أنبوب من الزجاج أو السيراميك يحتوي على غاز واحد مثل ليزرات الأرجون والزينون والهيدروجين والنيتروجين أو خليط من غازين مثل: ليزرات الهيليوم-نيون وفلوريد الهيدروجين وكلوريد الزينون أو خليط من أكثر من غازين مثل ليزرات CO_2 : N_2 : He .

كما يمكن تقسيم الليزرات الغازية إلى أنواع عديدة حسب آلية توليد الليزر إلى:

1. ليزرات الغازات المتعادلة مثل (He-Ne) (He-Cd)

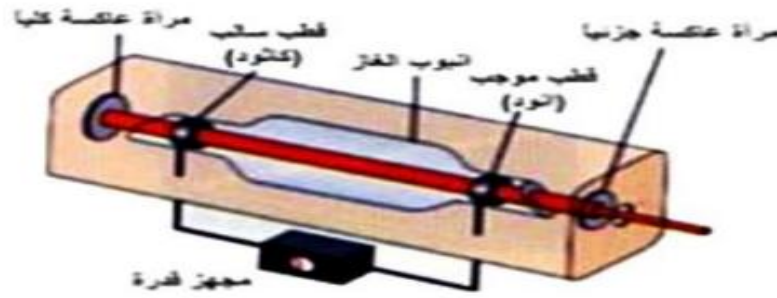
2. ليزرات الغازات الأيونية مثل (Kr^+) (Ar^+)

3. ليزرات الغازات الجزيئية مثل (CO_2) (KrF)

مصدر الضخ Pumping Source

عبارة عن جهاز قدرة كهربائية يقوم بتحويل القدرة الكهربائية إلى قطبين كهربائيين في الأنبوب (الأنود والكاثود) الذي يحتوي على الغاز (أو الغازات) فيحدث التفريغ الكهربائي للغاز (توليد البلازما) ويتولد الليزر .

يمكن أن يتم تبريد أنبوب التفريغ الكهربائي من خلال مرور ماء أو هواء بارد حول الأنبوب أو من خلال ضخ الغازات (أو الغازات) بسرعة كبيرة إلى داخل أنبوب التفريغ . عادة تكون مرايا الليزر الغازي ملصوقة على أنبوب التفريغ كما يمكن فصلها عنه كما هو موضح بالشكل التالي .

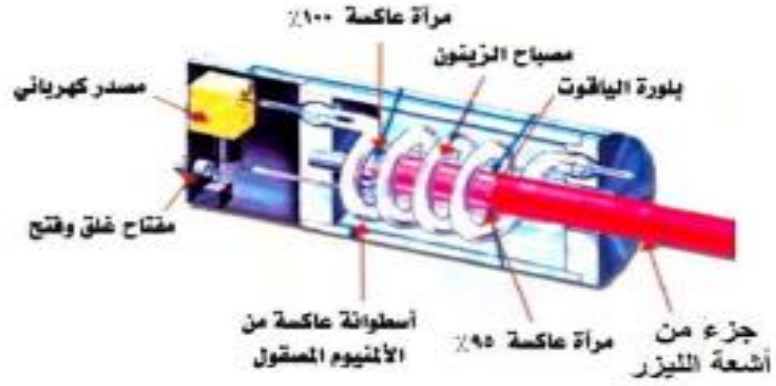


ليزر الياقوت The Ruby Laser

هو أحد الأمثلة على ليزرات الحالة الصلبة، ويعتبر ليزر الياقوت هو أول أنواع الليزرات ولا يزال مستعملاً حتى الآن عرف الياقوت منذ مئات السنين كأحد الأحجار الكريمة الطبيعية ويتكون من بلورة Al_2O_3 وقد حلت أيونات Cr^{3+} محل بعض أيونات Al^{3+} والتي تكسب الياقوت اللون الوردي في عام 1661 م وقبل أن يعلن ثيودور ميمان عن اختراع ليزر الياقوت نشر بحثاً عن تجاربه الضوئية في الياقوت حيث وصف بها الصفات الضوئية للياقوت التي تؤهله كي يكون مناسباً لاستخدامه في الليزر وبين أن اللون الوردي للياقوت ينتج عن امتصاص بلورة الياقوت المطعمة بأيونات Cr^{3+} للضوء.

مكونات جهاز ليزر الياقوت :

يوضح الشكل التالي مكونات ليزر الياقوت وهي كالآتي



1. الوسط الفعال

ساق من الياقوت يتكون من بلورة أكسيد الألومنيوم Al_2O_3 والتي استبدلت فيها نسبة صغيرة بأيونات الكروم ثلاثية التكافؤ على شكل أكسيد كروم (Cr^{3+}) بنسبة لا تتجاوز 0.05% وزنياً، وتعرف أيونات الكروم بأنها المادة الفعالة التي تثار من الحالة الأرضية والتي تسهم في إعطاء أشعة الليزر.

مصدر للطاقة

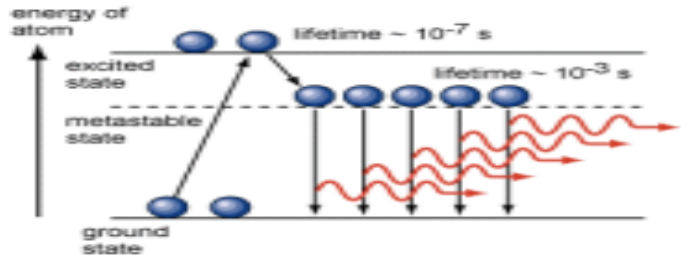
لإثارة مادة الوسط الفعال، وذلك بعملية الضخ الضوئي باستخدام مصباح وميضى حلزوني يحوي غاز الزينون Xe الذي يعطي وميض ضوئي متقطع إلى البلورة الياقوتية عند تشغيله بفعل التفريغ الكهربى، وكما يلاحظ فإن طريقة الحث هنا تتم بوساطة مصدر ضوئي للطاقة.

2. مقوي الرنين (المرنان)

عبارة عن مرأتين مثبتتين على طرف ساق الياقوت لإحداث الرنين الضوئي للأشعة بارتردادها ذهاباً وإياباً بين المرأتين لتضخيم شعاع الليزر إحدى هاتين المرأتين لها مقدار انعكاس 100% والأخرى لها انعكاسية بمقدار 95% لتكون أقل انعكاساً للضوء عن الأخرى، وذلك للسماح لبعض من الأشعة المنعكسة الداخلية بالنفاذ خارج الساق الياقوتي حتى يخرج الشعاع من المرنان بعد تضخيمه إلى منسوب عالي.

يمكن تفسير سلوك الخرج الليزري باستخدام نموذج ليزر المستويات الثلاث :

Three levels laser كما هو موضح بالشكل التالي :



سلوك الخرج الليزري للمستويات الثلاث

تعتبر وجود 3 مستويات طاقة حيث $E_3 > E_2 > E_1$ حيث تعتبر E_2 مستوي شبه مستقر، عمره الزمني طويل نسبياً، يقدر بحوالي جزء من مئة ألف من الثانية، وهو يفوق العمر الزمني المستويات الإثارة العادية بمقدار مئة ألف مرة.

تحدث العملية بالآيتين:

1. عند بدء تشغيل مصباح الزينون تبدأ عملية الضخ الصوتي، حيث تتم إثارة الذرات وانتقائها من مستوى الطاقة الأرضي E_1 إلى مستوى الطاقة الأعلى E_3 ، ثم لا تلبث أن تعود هذه الذرات إلى مستوى الطاقة شبه المستقر E_2 عن طريق الانبعاث التلقائي. ونظراً لطول عمره الزمني، يزداد فيه عدد الذرات المثارة حتى يصبح عددها أكبر من تعدادها في مستوى الطاقة الأرضي E_1 أي تحقق حدوث الانقلاب السكاني.

2. تنتقل الذرات تلقائياً من المستوى E_2 إلى المستوى E_1 ويصحب هذا الانتقال انبعاث فوتونات طولها الموجي 6943 أنجستروم، وهذه الفوتونات الصادرة تلقائياً، عندما تمر بالذرات المثارة في المستوى E_2 فإنها تحتها على الانتقال من المستوى E_2 إلى المستوى E_1 قبل أن يحين زمن عودتها تلقائياً. ويتولد نتيجة لذلك عدد هائل من الفوتونات المستحثة. وهذه وغيرها تولد المزيد من الفوتونات وتحصل على شعاع ليزر ذو لون أحمر.

3. تنعكس فوتونات يميناً ويساراً داخل القضيب الياقوتي بسرعة الضوء فيتجمع في لحظة زمنية عدد هائل من الفوتونات المترابطة في الطور من كل ذرات الياقوت، وعند وصول طاقة الفوتونات إلى الحد الكافي لنفاذها خارج القضيب على هيئة حزمة ضوئية مترابطة وشديدة تسمى بالانبعاث الليزري انبعاث الفوتونات بشكل متتالي يؤدي إلى عدم إمكانية زيادة معدل الضخ الضوئي للحاق بملا المستوى E_2 وبالتالي فتضخم الشعاع وانطلاقه يستلزم فترة زمنية، ولذلك فإن هذا النوع من الليزات هو ليزر نبضي وليس متصل.

أنواع الليزرات المستخدمة في الصناعة من حيث:

1. الليزرات الصلبة :

وأمثلة لها :

1. ليزر الياقوت (The Ruby Laser)

يستخدم في النقش وبعض التطبيقات الدقيقة .

2. ليزر النيوديميوم-ياج (Nd:YAG Laser)

يستخدم في لحام المعادن وقطع المواد الصلبة و التطبيقات الطبية

3. ليزر الإربيوم (Er:YAG Laser)

يستخدم في شكل رئيسي في التطبيقات الدقيقة مثل النقش الدقيق أو في الطب.

2. الليزرات السائلة :

أهم الأنواع :

1. ليزر الصبغة (Dye Laser) :

يستخدم في قياس الأطياف الضوئية و الأبحاث العلمية و تصنيع المواد الدقيقة.

3. الليزرات الغازية :

أهم الأنواع :

1. ليزر ثاني أكسيد الكربون (Co2 Laser):

يستخدم في قطع المواد غير المعدنية (الخشب, الزجاج, البلاستيك) والنقش الصناعي والتوجيه البصري والقياسات الدقيقة.

2. ليزر الإكسيمر (Excimer Laser)

يستخدم في تصنيع المكونات الدقيقة والحفر والنقش في الإلكترونيات.

3. ليزر الأرجوان (Argon Laser)

يستخدم في تطبيقات دقيقة مثل التصوير و الطباعة ثلاثية الأبعاد.

الفصل الثاني

استخدامات الليزر :

أشعة الليزر (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) لها العديد من الاستخدامات في مختلف المجالات. من أبرز استخداماتها:

1- الطب:

- الجراحة الليزرية:

تستخدم في العمليات الجراحية الدقيقة مثل جراحة العيون (ليزك) وجراحة الأوعية الدموية.

- العلاج بالليزر :

لعلاج الأمراض الجلدية وإزالة الشعر والعلاج الطبيعي لتخفيف الألم.

* التطبيقات في المجالات الطبية:

تستخدم اشعة الليزر في مجل التشخيص حيث يتم استخدام الليزر في قياس جريان الدم باستخدام مقياس السرعة لدوبلر ، ومعالجة تصلب الشرايين عن طريق إذابة وتبخير التسربات الدهنية في الشرايين المتصلبة، مما يقلل من إمكانية حدوث الجلطات القاتلة ويتم ذلك عن طريق تركيب مصدر لليزر في طرف قسطرة (انبوب دقيق) قطره اقل من ثلاث ملليمترات، يتم إدخاله في الشرايين وتسلط شعاع الليزر على منطقة الترسبات الدهنية. وقد استخدم الليزر كذلك في إزالة التجاعيد الجلدية، وعلاج اثار الحروق على الجلد، وفي جراحات الدماغ والاذن والجهاز الهضمي والجهاز التنفسي وعنق الرحم وجراحات العيون لعلاج انفصام الشبكية وتقرحها.



علاج اثار الحروق باستخدام الليزر

وفي الجراحة يوجد ما يسمى بمشرط حزمة الليزر كبديل للمشرط التقليدي، ويمكن تلخيص مزايا استخدام مشرط حزمة الليزر كما يلي:

1. يمكن فتح الشق في الموضع المطلوب بدقة عالية وخاصة عندما توجه الحزمة ميكروسكوب مناسب (الجراحة المجهرية الليزرية) Laser microsurgery.
2. يمكن اجراء العملية لمواضع يصعب الوصول اليها.
3. التقليل الهائل من الخسارة الجانبية والنتيجة عن قطع الأوعية الدموية والتي تحدث عند استخدام المشرط التقليدي.
4. تقليل الدمار الذي يصيب الأنسجة المجاورة لموضع القطع.

وفي مجال طب الاسنان في السنوات الأخيرة أمكن استخدام الليزر في علاج الامراض التالية:

1. التهاب اللثة، التهاب العصب واحتقانه، التهابات ما حول السن، لين العظام.

2. الخراجات.

3. استئصال الحصىات اللعابية في الغدد اللعابية.

4. الجراحه قبل التعويض الصناعي (الطقم).

5. اورام النسيج الرخوة.

6. في الجراحة التقويمية.

2- الصناعة:

- القطع والنقش:

تستخدم أشعة الليزر في قطع المعادن والبلاستيك والخشب بدقة عالية.

- اللحام:

تستخدم في لحام المعادن والمواد المختلفة بشكل فعال ودقيق.

3- الاتصالات:

- الألياف الضوئية:

تستخدم في نقل البيانات عبر الكابلات الضوئية بسرعة عالية وبكفاءة كبيرة.

التطبيقات في مجالات الالياف والاتصالات البصرية:

شكل الليزر حجر الزاوية لجميع أنواع التكنولوجيا الرقمية في القرن الحادي والعشرين ، وفي كل مره تذهب فيها للتسوق ويمر ماسح الباركود على مشترياتك، فانت تستخدم الليزر لتحويل الباركود المطبوع الى رقم يمكن ان يفهمه جهاز الكمبيوتر المتصل بالجهاز ، اضافة الى كابلات الالياف الضوئية والتي تعد الوسيلة الاكثر اهمية في مجال الاتصالات، إذ يمكن من خلالها إرسال إشارات متعددة بجودة عالية وخسائر قليلة وتسطيع محركات الالياف الضوئية في الهاتف والتي هي عبارة عن أجهزة ليزر صغيرة للغاية من نوع الصلب من إرسال حوالى 50مليون (pulse) في الثانية، وتشفير أكثر من 600 محادثه هاتفية متزامنة.

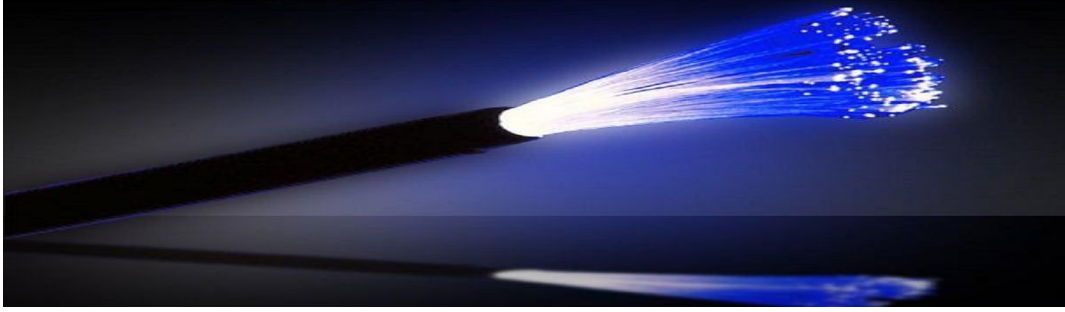
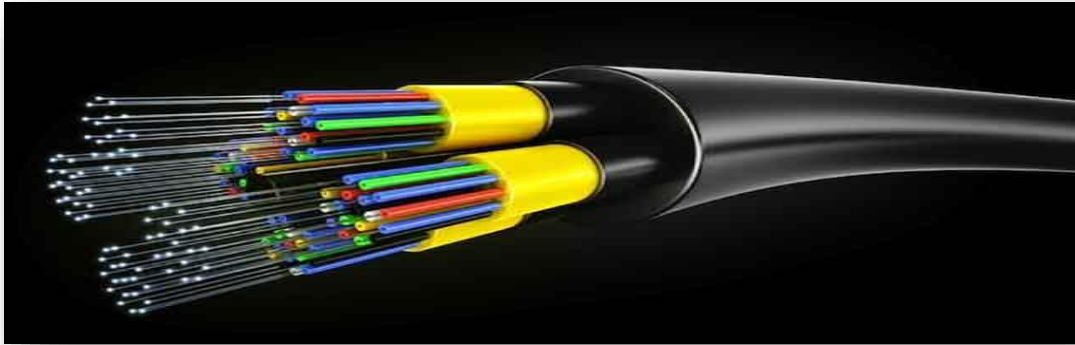
يتكون ليزر الالياف او الياف الليزر من مصدر ضوئي (ديود ليزر) يصدر اشعه الليزر، ونظام توصيل ضوئي اما ان يكون مستقلا بنفسه او يدعمه غلاف عاكس (ديود ليزر متصل بالالياف)، ونظام رنين ضوئي Resonator للمحافظة علي اشعه الليزر وتقويتها. تتولد في قلب الالياف البصرية مناطق لها معامل انكسار مختلفة عن بعضها، بحيث تعكس ضوء الليزر داخليا عند طول موجه معينه نقيه. وبذلك تسمح بمرور ضوء ليزر عند طول موجه بعينها وتكون خاليه من اطوال الموجه الاخرى. وبعد خروج الشعاع من الياف الليزر النشطة، اما ان يدخل في الياف زجاجيه او في موصل ضوئي، تعمل على تركيز اشعه الليزر على أله تعمل بالليزر. تستخدم الياف الليزر في نقل المعلومات بواسطة الياف الزجاج. وتستخدم مكونات خاصه، مثل الالياف المضخمة لتقويه الاشارات عبر مسافات كبيره.

من الممكن استخدام شعاع الليزر لغرض حمل الاشارات الكهرومغناطيسية ونقلها من نقطه الي نقاطه اخرى بسرعه عاليه ودقه متناهيه حيث يبلغ النطاق الترددي لحزمة الليزر حوالى (1014Hz) فإذا كان عرض الحزمة التلفزيونية الواحدة هو (5MHz) فان

شعاع ليزر واحد يمكنه ان يحمل حوالى (x1062)قناة تلفزيونيه . اما في حاله الاشارات الصوتية فان هذا الرقم يزداد اكثر وعليه فان قابليه شعاع الليزر على نقل المعلومات اعلى بكثير جدا من الموجات الدقيقة (Microwaves)(MW) او الموجات الراديوية (Radio waves) ايضا يتم استخدامها لنقل المعلومات علي مسافات اقصر مثلا (ضمن البناية او على متن السفينة او الطائرة).

من امثله الاتصالات البصرية الحديثة:

1. شبكات الهاتف المتقدمة (الشبكات الضوئية).
2. الشبكة العالمية للمعلومات (Internet).
3. مراكز الخدمة الهاتفية المركزة لمنظومات الهواتف النقاله (Mobiles).
4. شبكات المساحة المحدود (LAN) لتتأقل البيانات.



4- البحث العلمى:

- الفيزياء والكيمياء:

تستخدم في دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد.

- التحليل الطيفي:

تستخدم لتحليل العناصر والمواد المختلفة.

5- العسكري:

- الأسلحة الليزرية:

تستخدم في تطوير أسلحة ذات دقة عالية.

- أنظمة التوجيه:

تستخدم في توجيه الصواريخ والأسلحة.

التطبيقات في المجالات العسكرية:

ترجع فكرة استخدام الضوء للتطبيقات العسكرية عن طريق العالم اليوناني ارشم يدس وذلك في سنة 212 قبل الميلاد حيث قام بصنع مرآة عملاقة تقوم بتجميع الأشعة وتقوم بحرق السفن المعادية في تلك الحقبة من التاريخ. وفي عام 1960 تم رفع السرية عن تصنيع اول جهاز على يد العالم ثيودور ما يمان وصفه الصحفيون على الفور (بأشعة الموت)



جهاز ليزر مايمان



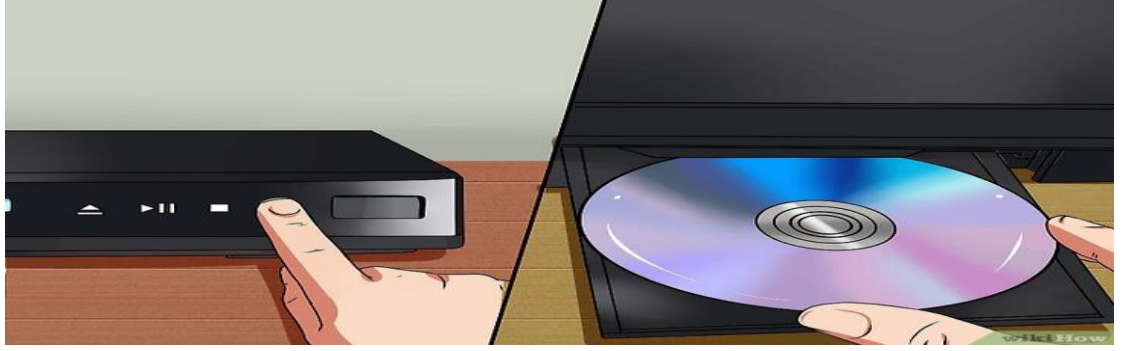
صورة تخيلية لشكل المرآة وهي تقوم بحرق أحد السفن

ويستخدم الليزر في انظمه تحديد الموقع وتوجيه الأسلحة والملاحة، اضافته الى الاتصال بالليزر وهناك محاولات لإنشاء سلاح الليزر، القادر على تعطيل انظمه الرؤية والاستهداف لدي العدو كما يمكن استخدام الليزر لتعطيل الرؤية لدى الهدف واكتشافه. ويمكن تعديل قوة الليزر للتدمير الكامل وكذلك في عمليات توجيه وتتبع مسار الصواريخ والقذائف وليس هناك حاجة لإجراء التصحيحات البالسنية واخذ اتجاه وقوة الرياح بعين الاعتبار. يكون التفاعل الناتج من ضوء الليزر اما ضوئي او حراري. اما التأثير الضوئي فيمكن استغلاله للتطبيقات العسكرية عن طريق ايجاد الاهداف والقياسات الضوئية الدقيقة. وايضا يستخدم في تطبيقات الرادار اما بعمل مسح جوي من طائرات للوحدات الأرضية، كما يستخدم كوسيلة للكشف عن الاجسام القريبة وتعين مواقعها، وهذه الأجهزة تستخدم منذ الحرب العالمية الثانية وحتى اليوم استخدام الليزر كرادار في الطائرات. وهناك طائرات الحاملة لليزر المستخدمة في قذف الصواريخ والطائرات الاخرى ومما لا شك فيه خطورة واهمية استخدام الليزر في كثير من الأسلحة مثل الطائرات والمركبات وأيضا البارجات البحرية والتي يستخدم بها الليزر الذي يعمل بطاقة الالكترون الحر، لكن ما يجعل انتاجه غير موسع للدرجة الهائلة هو انه يحتاج الى استهلاك عالي للطاقة وهو العيب الرئيسي في ذلك بالإضافة الى خطورة الليزر في كثير من الأسلحة مثل الطائرات والمركبات وايضا البارجات البحرية والتي يستخدم الليزر الذي يعمل بطاقة الالكترون الحر.

6- الإلكترونيات الاستهلاكية:

- الأقراص الضوئية:

مثل أقراص CD وأقراص DVD



أقراص DVD

أقراص CD

- أجهزة القياس:

مثل المسافات الليزرية وأجهزة التحديد.

7- التطبيقات البيئية:

- مراقبة التلوث:

تستخدم في تحليل جودة الهواء والمياه.

- استكشاف الموارد:

تستخدم في استكشاف المعادن والنفط.

هذه بعض من الاستخدامات المتنوعة لأشعة الليزر التي تظهر تأثيرها الكبير في العديد من المجالات الحديثة.

8- الزراعة:

-التحكم في الآفات:

استخدام الليزر في التخلص من الآفات الحشرية بدون الحاجة للمبيدات.

-تحليل التربة:

استخدام الليزر لتحليل محتوى التربة والمساعدة في تحسين الإنتاجية.



استخدام الليزر في الزراعة

9- الترفيه والفنون:

-العروض الضوئية:

تستخدم في العروض الضوئية والفعاليات الترفيهية.



استخدام الليزر في العروض الضوئية

-النحت ثلاثي الأبعاد:

تستخدم في فنون النحت والطباعة ثلاثية الأبعاد.



استخدام الليزر في النحت ثلاثي الأبعاد

10- البناء والهندسة:

-المسح الليزري:

يستخدم في مسح المباني والمناطق الجغرافية بدقة عالية.

-التصميم الهندسي:

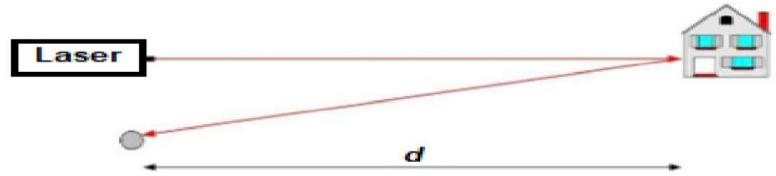
يستخدم في تصميم المباني والمنشآت المعمارية.

مجال قياس المسافات بدقة متناهية:

يمكن استخدام الليزر في قياس المسافات بدقة متناهية، سواء المسافات القصيرة او الطويلة؛ واشعه الليزر تستطيع قياس عشرة أمتار دون احداث خطأ يتجاوز واحد على عشرة الالف من المتر. كما استخدمت اشعه الليزر في تحديد بعد القمر عن الأرض. وقد تم ذلك في السبعينيات حيث وضع رواد الفضاء على القمر مرآة لعكس الليزر عن سقوطه عليها، وبعد ذلك وجه شعاع ليزر من الأرض الي القمر وبانعكاسه على المرآة على سطح القمر وعودته الي الأرض استطاع العلماء حساب بعد القمر عن الأرض بدقة لم يتواصل اليها من قبل وحيث انه يستخدم أيضا في تحديد الأهداف بدقة بالغه جدا.

مثال على جهاز قياس المسافات:

مقدر مسافات ليزري هو جهاز يستخدم اشعه الليزر لتقدير المسافة لهدف ماء وتقوم فكره جهاز تقدير المسافة بالليزر على إطلاق نبضه ليزر لكي تصل الى هدف ما فتعكس منه هذه النبضة الى جهاز الاستقبال، وتقوم دوائر خاصه بحساب الزخم من لحظه الاطلاق حتى عوده النبضة، ويستفاد من الجهاز في تطبيقات عسكريه ومدنيه لقياس المسافات.

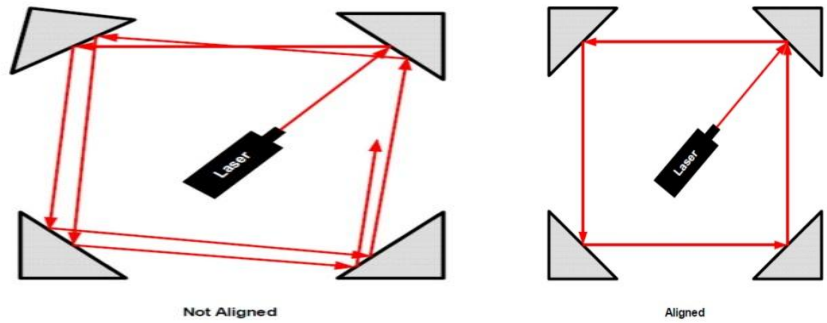


جهاز قياس المسافات

مبدأ قياس المسافة باستخدام الليزر

مجال المحاذاة والقياس والتصوير:

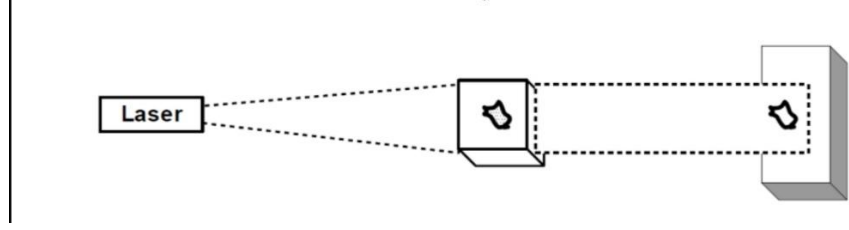
كما يستخدم الليزر في عمليات الترصيف البصري (المحاذاة) والتي تعني وضع مجموعه من الأشياء على استقامة واحده كالجسور والطرق والأرصعة وتصب الماكينات والمصانع.



استخدام الليزر في المحاذاة والتصوير

مخطط يوضح معنى الترصيف البصري

كذلك يمكن استخدام الليزر في كشف عن العيوب الموجودة داخل المادة من خلال تسليط الليزر ونقل صورة عن تركيب الداخلي ومعرفة إذا ما كنت هنالك عيوب في التركيب البلوري ام لا.



التصنيف البصري

مخطط يوضح استخدام الليزر في كشف العيوب داخل المادة

يستخدم المساحون وعمال البناء اشعه الليزر لرسم خطوط مستقيمه في الهواء والشعاع نفسه غير مرئي في الهواء الا في الإمكان التي يتأثر فيها الغبار او الضباب لكنه يسقط نقطه مضيه على جسم بعيد.

يرتد المساحون الشعاع عن المرآة لقياس الاتجاه والزاوية. يمكن ان تحدد الشعاع زاوية لتصنيف الأراضي المروية ويمكن انا تحدد الحزمة الدوارة مستوى أملس لعمال البناء الذين يقومون بتركيب الجدران او الاسقف.

وايضا يمكن لرادار الليزر قياس المسافة عن طريق تحديد الوقت الذي تستغرقه نبضه الليزر للارتداء من جسم بعيد على سبيل المثال، في عام 1969، قاس رادار الليزر بدقة المسافة من الأرض الي القمر، وفي السبعينيات تم تطوير اجهزه تحديد المدى بالليزر العسكرية لقياس المسافة الى أهداف ساحة المعركة بدقة. يستخدم اكتشاف مدى الليزر الان على نطاق واسع للاستثمار عن بعد. يمكن للأجهزة المحمولة على متن الطائرة تحديد طبقات أوراق الشجر في الغابة، استخدام مساحة المريخ العالمي مقياس الارتفاع بالليزر لرسم خريطة للارتفاعات على سطح المريخ.

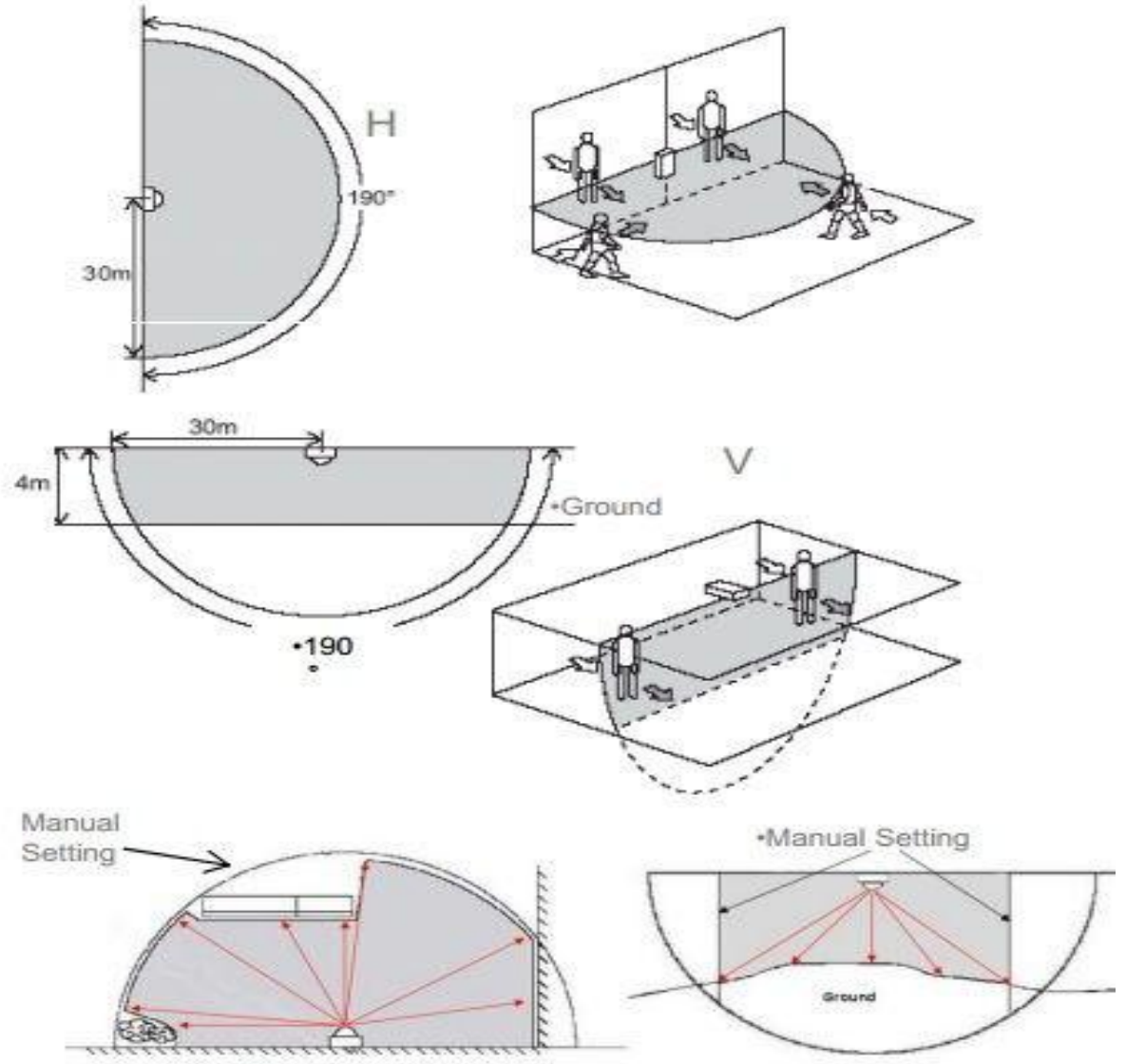
11- الأمن والمراقبة:

-أنظمة الإنذار:

تستخدم في أنظمة الإنذار والتحكم في الدخول.

-المراقبة:

تستخدم في مراقبة الأماكن الحساسة وتوفير الحماية.



مراقبة المنطقة عبر الليزر

لا تتطلب أجهزة الكشف الخاصة بالمنطقة المراقبة بالليزر والمعروفة اختصاراً بـ((LAS)) أي أجهزة كمبيوتر للتشغيل. حيث يمكن توصيل النظام بكاميرا PTZ أو جهاز إرسال فيديو أو مسجل فيديو رقمي.

• يتمتع نظام مراقبة المنطقة بالليزر LAS بـ 4 شرائح لمجال الكشف والمخرجات المتصلة. ويمكن أن يتكامل مع تطبيقات التحكم الخاصة بكاميرات PTZ.

• يمكن لنظام LAS التعرف على المسافة وحجم وسرعة الأشياء الموجودة في نطاق 30 متراً. ويمكنه التعرف على الأهداف البشرية وتجنب عوامل الإنذار الكاذب من خلال التجهيز بلوغاريتمات الكشف الخاصة بنا.

تقوم شركة I&SI بدمج أجهزة الاستشعار بالليزر في نظام أمني كامل وذلك لتمكين منصة برنامج الإدارة والمراقبة من الكشف التلقائي عن المتسللين في مناطق محددة. بمجرد قيام جهاز الاستشعار بالليزر بالكشف عن متسلل، يمكن لكاميرا PTZ تتبعه تلقائياً. ويمكن ربط عدد غير محدود من الكاميرات بكل جهاز استشعار بالليزر للحصول على تغطية كاملة للموقع.

12- التعليم والتدريب:

-التدريس:

تستخدم في الشروحات العلمية وعروض التعليم.

-المحاكاة:

تستخدم في أنظمة المحاكاة لتدريب الطيارين والجراحين.

13- النقل:

-السيارات ذاتية القيادة:

تستخدم الليزر في أنظمة التحكم والتوجيه.

-السكك الحديدية:

تستخدم في فحص وصيانة السكك الحديدية.

14- علم الفضاء:

-الأبحاث الفضائية:

تستخدم في دراسة الأجرام السماوية وقياس المسافات بين الكواكب.

-الاتصالات الفضائية:

تستخدم في الاتصالات بين المركبات الفضائية والأرض.

15- البيئة والطاقة:

-التعدين:

تستخدم في عمليات التعدين وتحليل المعادن.

-الطاقة المتجددة:

تستخدم في تحسين كفاءة الخلايا الشمسية وأنظمة الطاقة المتجددة الأخرى.

16- الطب الشرعي:

-تحليل الأدلة:

تستخدم في تحليل الأدلة الجنائية مثل بصمات الأصابع والألياف.

-الكشف عن التزوير:

تستخدم في كشف الوثائق المزورة والعملات المزيفة.

الفصل الثالث

أشعة الليزر تُعد من أهم الابتكارات العلمية التي أحدثت ثورة في العديد من المجالات الصناعية. تعتمد أشعة الليزر على إنتاج شعاع ضوئي عالي التركيز والطاقة، مما يجعلها أداة دقيقة وفعالة في تطبيقات متنوعة.

في الصناعة، تُستخدم أشعة الليزر في عدة مجالات، من أبرزها:

عملية القطع بالليزر في الصناعة:

القطع بالليزر هو إحدى التقنيات المتقدمة التي تعتمد على استخدام أشعة الليزر في قطع وتشكيل المواد المختلفة بدقة عالية وكفاءة. تُستخدم هذه التقنية على نطاق واسع في مختلف الصناعات مثل التصنيع، السيارات، الطيران، الإلكترونيات، وصناعة الحلي.

تعمل تقنية القطع بالليزر عن طريق توجيه شعاع ليزر عالي الكثافة على المادة المستهدفة، حيث يتم تركيز الطاقة الحرارية في نقطة صغيرة جدًا، مما يؤدي إلى انصهار أو تبخير المادة. يمكن التحكم بدقة في مسار القطع بواسطة أنظمة تحكم رقمية (CNC)، مما يتيح تنفيذ تصاميم معقدة وتحقيق نتائج دقيقة.

مفهوم القطع بالليزر وآلية عمله:

1. تعريف القطع بالليزر:

القطع بالليزر هو تقنية تستخدم شعاع الليزر المركز لقطع المواد المختلفة بدقة عالية من خلال رفع درجة حرارة المنطقة المستهدفة إلى درجة الانصهار أو التبخر.

2. آلية عمل القطع بالليزر:

1. توليد شعاع الليزر:

يتم إنتاج شعاع ليزر عالي الكثافة باستخدام مصادر مثل ليزر الألياف أو ليزر ثاني أكسيد الكربون.

2. تركيز الشعاع:

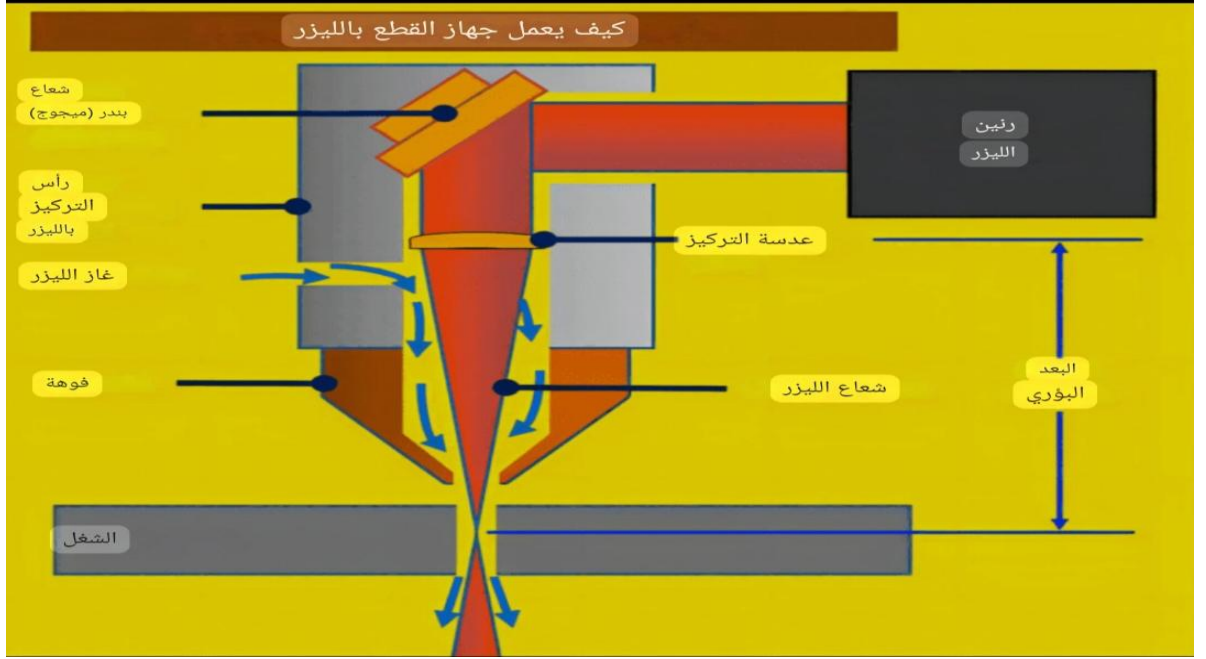
تُستخدم عدسات لتركيز شعاع الليزر على نقطة صغيرة جدًا، مما يولد حرارة هائلة تؤدي إلى إذابة المادة أو تبخيرها.

3. استخدام الغازات المساعدة:

تُستخدم غازات مثل الأكسجين أو النيتروجين لتحسين جودة القطع وتنظيف المنطقة من المخلفات.

4. التحكم الرقمي (CNC):

تُدار العملية بواسطة أنظمة رقمية لضمان دقة التصميم والتنفيذ.



المكونات الأساسية للجهاز:

مصدر الليزر:

يولد شعاع الليزر.

رأس القطع:

يحتوي على عدسات لتركيز الشعاع

نظام التحكم الرقمي (CNC):

يوجه شعاع الليزر لتحقيق التصميم المطلوب.

أنظمة البريد:

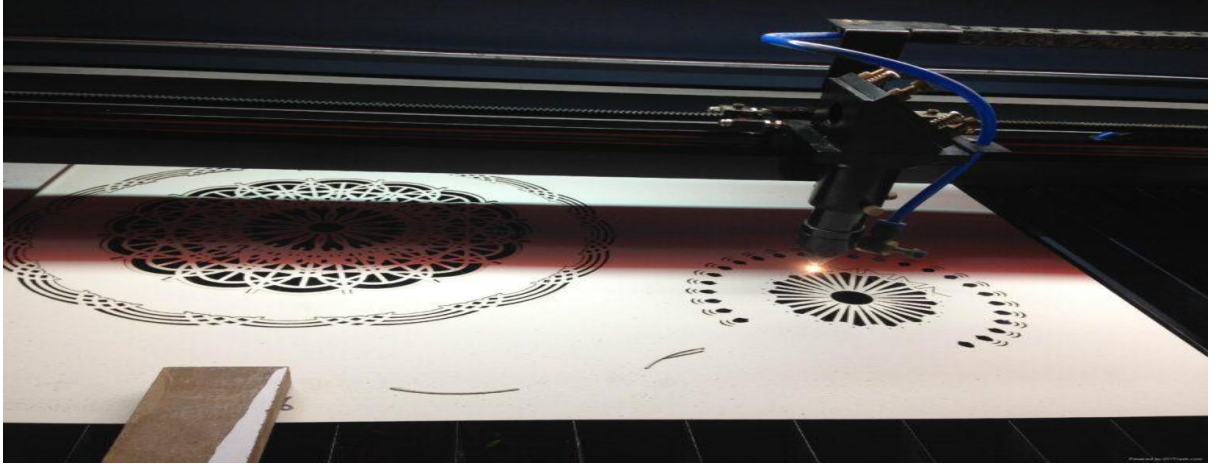
تحافظ على درجة حرارة الجهاز.

الأجهزة المستخدمة في القطع:

1. ليزر ثاني أكسيد الكربون (CO_2):

باعتبارها واحدة من آلات القطع بالليزر الأوسع تطبيقاً، فهي تعتمد غازات ثاني أكسيد الكربون كمادة عاملة ويتم تنشيطها بالطاقة لإنتاج أشعة تحت الحمراء بطول موجي 10.6 ميكرومتر.

إلى جانب ذلك، تعمل أجهزة ليزر ثاني أكسيد الكربون بشكل جيد في امتصاص المواد غير المعدنية، بحيث تكون مناسبة للخشب والأكريليك والزجاج والورق والنسيج والبلاستيك والجلد.



ليزر ثاني أكسيد الكربون

2. ليزر الألياف:

باستخدام الألياف الضوئية المخدرة بعناصر أرضية نادرة كوسيط كسب، يتم ضخ قواطع الليزر الليفي بواسطة صمامات ليزر ثنائية أشباه الموصلات، مما يولد شعاع ضوء قريب من الأشعة تحت الحمراء بأطوال موجية تتراوح بين 1.06 و 1.07 ميكرومتر. يتميز الليزر في هذا النطاق بمعدل امتصاص عالٍ للغاية للمعادن. ومن ثم تُستخدم آلات القطع بليزر الألياف على وجه التحديد لقطع المواد المعدنية، وخاصة الفولاذ المقاوم للصدأ والفولاذ الكربوني والألومنيوم والنحاس وغيرها



ليزر الألياف الضوئية

3. ليزر Nd:YAG:

إن آلة القطع بالليزر YAG هي نوع من معدات القطع بالليزر ذات الحالة الصلبة التي تعتمد على بلورة عقيق الألومنيوم الإيتريوم (YAG) المخدرة بأيونات النيوديميوم ($+Nd3$). الطول الموجي للعمل قريب من الطول الموجي لليزر الليفي، أيضًا حوالي 1.06 ميكرومتر، وبالتالي فإن آلة القطع بالليزر YAG تستخدم بشكل أساسي لقطع المعادن أيضًا.

كيفية إتمام عملية القطع بالليزر:

1. إعداد التصميم:

يتم إعداد التصميم باستخدام برامج التصميم بالحاسوب (مثل AutoCAD أو SolidWorks). يُحدد نوع المادة، السمك، والأبعاد.

2. تثبيت المادة:

تُوضع المادة الخام (لوح معدني أو بلاستيكي) على طاولة القطع.

3. ضبط الماكينة:

يتم ضبط قوة الليزر وسرعته بناءً على سمك المادة ونوعها.

تُبرمج الماكينة لتتبع مسار القطع بدقة.

4. القطع:

تُوجه أشعة الليزر إلى المادة من خلال عدسات دقيقة.

تُركز أشعة الليزر على نقطة صغيرة لتوليد حرارة كافية لقطع المادة.

5. إزالة الواد الزائدة:

تُزال القطع الزائدة باستخدام أنظمة شفط أو يدويًا.

6. المعالجة النهائية:

يتم تنظيف الحواف المقطوعة وتفتيشها للتأكد من الجودة والدقة.



القطع الثلاثي بالليزر

استخدامات أشعة الليزر للقطع في صناعة السيارات:

1. قطع الهياكل المعدنية:

تُستخدم أشعة الليزر لقص ألواح الفولاذ والألمنيوم التي تشكل هيكل السيارة، مثل الأبواب والسقف والأرضيات.

2. قطع الأجزاء الداخلية:

تُستخدم في قطع البلاستيك والخشب المستخدم في الديكورات الداخلية مثل لوحات القيادة وألواح الأبواب.

3. إنتاج أجزاء دقيقة:

تُستخدم لقص الأجزاء الصغيرة والمعقدة مثل أجزاء المحرك، المشابك، والنوابض.

4. إنتاج القوالب:

تُساعد في تشكيل القوالب المعدنية المستخدمة في تصنيع أجزاء السيارات الأخرى.

5. قطع المواد المركبة:

تُستخدم لقص المواد الحديثة مثل ألياف الكربون والبلاستيك المدعم بالألياف.

مزايا القطع بالليزر في صناعة السيارات:

الدقة العالية:

يُمكن قطع أجزاء صغيرة جدًا ومعقدة.

التوفير في المواد:

لا توجد حاجة لأدوات ميكانيكية مما يقلل الهدر.

السرعة:

العملية أسرع مقارنة بتقنيات القطع التقليدية.

المرونة:

يُمكن قطع مجموعة متنوعة من المواد دون الحاجة لتغيير الأدوات.



استخدامات أشعة الليزر للقطع في صناعة السيارات

اللحام بالليزر في الصناعة:

اللحام بالليزر هو عملية تصنيع حديثة عالية التقنية تجمع بين قطعتين من المعدن وشعاع ضوئي مركز.

عملية اللحام بالليزر دقيقة للغاية وفعالة إنه خيار شائع لتطبيقات التصنيع الصناعي.

تبدأ عملية اللحام بالليزر بتطبيق شعاع ليزر قوي على سطح المعدن. يركز شعاع الليزر على منطقة صغيرة، لا يزيد عرضها عادة عن بضعة ملليمترات. يجب أن يكون شعاع الليزر ذا شدة وطول موجي دقيقين لتحقيق اللحامات المثلى. يتم بعد ذلك توجيه الحزمة إلى السطح المعدني، مما يؤدي إلى صهر القطعتين ودمجهما.

آلية عمل اللحام بالليزر:

1. إنتاج شعاع الليزر:

يتم توليد شعاع الليزر من مصدر ليزري مثل ليزر الألياف أو ليزر Nd:YAG.

يُركز الشعاع إلى نقطة صغيرة جدًا باستخدام عدسات خاصة.

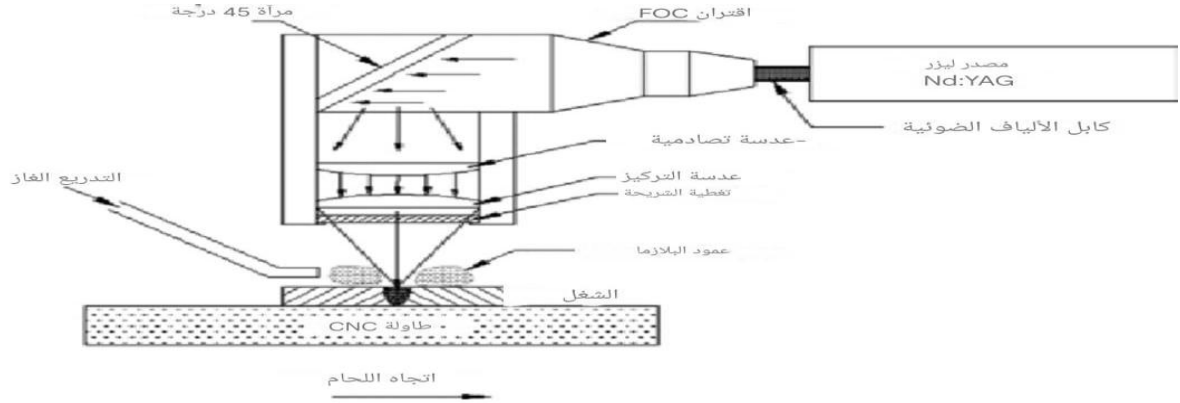
2. تركيز الطاقة:

يتم توجيه الشعاع إلى منطقة اللحام المطلوبة، حيث تُركز الطاقة الحرارية على نقطة صغيرة جدًا (ميكرومتريّة).

ترتفع درجة الحرارة بسرعة، مما يؤدي إلى انصهار المادة أو المواد المراد لحامها.

3. التبريد السريع:

بعد إيقاف شعاع الليزر، تبرد المنطقة المصهورة بسرعة، مكونة وصلة قوية ودقيقة.



طريقه عمل آلية اللحام بالليزر

أنواع اللحام بالليزر:

1. لحام التوصيل (Conduction Welding):

يحدث عند تسخين السطح فقط، دون اختراق عميق.

2. لحام النفاذ (Keyhole Welding):

يخترق شعاع الليزر المادة لتشكيل وصلة عميقة.

استخدامات اللحام بالليزر في الصناعة:

1. صناعة السيارات:

لحام هياكل السيارات، الأبواب، أنظمة العادم، وبطاريات السيارات الكهربائية.

تحسين الكفاءة وخفض وزن السيارات باستخدام مواد خفيفة مثل الألومنيوم والمغنيسيوم.

2. الصناعات الإلكترونية:

لحام الدوائر المطبوعة، الشرائح الدقيقة، والوصلات الكهربائية.

يوفر دقة عالية لتجنب تلف المكونات.

3. الصناعات الطبية:

تصنيع الأدوات الطبية مثل الدعامات والشبكات والجراحة الروبوتية.

لحام المواد الحساسة مثل التيتانيوم والصلب غير القابل للصدأ.

4. صناعة الطيران والفضاء:

لحام الأجزاء الكبيرة مثل هياكل الطائرات والمحركات التوربينية.

يتيح استخدام المواد المركبة والمتعددة المعادن لتحسين الأداء.

5. صناعة المجوهرات:

لحام المعادن الثمينة مثل الذهب والفضة بدقة دون إحداث ضرر للمواد.

6. صناعة أنابيب النفط والغاز:

لحام الأنابيب والمواسير في البيئات الصناعية القاسية.

مزايا اللحام بالليزر:

1. دقة عالية:

يسمح بتوجيه الطاقة الحرارية إلى مناطق صغيرة جدًا دون التأثير على المناطق المحيطة.

2. قوة الوصلات:

تنتج الوصلات الملحومة باستخدام الليزر قوة عالية وتحمل الإجهاد.

3. تقليل التشوهات الحرارية:

التبريد السريع يمنع التشوهات في المواد.

4. سرعة الإنتاج:

تتم العملية بسرعة كبيرة مقارنة باللحام التقليدي، مما يرفع كفاءة التصنيع.

5. إمكانية أتمتة العملية:

يمكن دمج أنظمة الليزر مع الروبوتات للحصول على عمليات تصنيع مستمرة ودقيقة.

6. لحام المواد المختلفة:

يُمكن لحام المواد غير المتجانسة مثل الألومنيوم والفولاذ.

التحديات والعيوب:

1. تكلفة المعدات:

آلات اللحام بالليزر ذات تكلفة مرتفعة مقارنة بطرق اللحام التقليدية.

2. الحاجة إلى دقة في الإعداد:

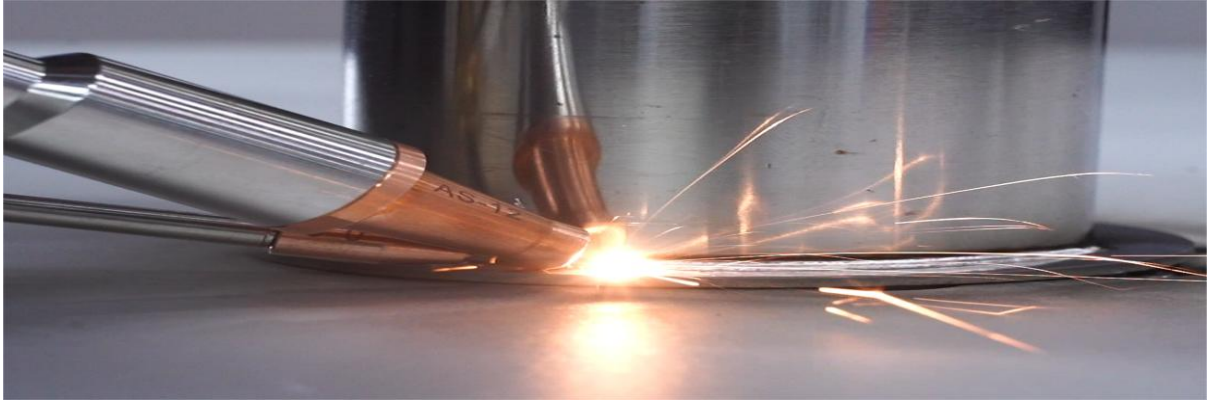
يتطلب توجيه الليزر ضبطاً دقيقاً للغاية لتحقيق النتائج المطلوبة.

3. حساسية المواد:

بعض المواد قد تحتاج إلى معالجة خاصة لتجنب العيوب.

مستقبل اللحام بالليزر:

مع التطور المستمر في تقنيات الليزر، مثل الليزر عالي الطاقة والروبوتات المدمجة، سيزداد الاعتماد على هذه التقنية في الصناعات المختلفة. وستكون أكثر فائدة في القطاعات التي تتطلب دقة وسرعة مثل صناعة السيارات الكهربائية، والفضاء، والأجهزة الطبية.



اللحام بالليزر

اللحام بالليزر في صناعة السيارات:

تُعد تقنية اللحام بالليزر واحدة من التقنيات الأساسية في صناعة السيارات الحديثة نظرًا لارتفاع مستوى الدقة والكفاءة التي توفرها. تعتمد هذه التقنية على استخدام أشعة الليزر لتركيز طاقة حرارية عالية على نقطة محددة، مما يسمح بلحام الأجزاء المعدنية بسرعة ودقة، مع الحد الأدنى من التشوهات الحرارية.

استخدامات اللحام بالليزر في صناعة السيارات:

1. لحام الأجزاء الهيكلية:

يتم استخدام اللحام بالليزر لتوصيل ألواح الفولاذ أو الألومنيوم المستخدمة في هيكل السيارة، مثل الأبواب، السقف، وأرضية السيارة. يساعد هذا على تحسين الصلابة الهيكلية وتقليل الوزن الإجمالي للسيارة.

2. لحام البطاريات في السيارات الكهربائية:

تُستخدم تقنية اللحام بالليزر في صناعة بطاريات الليثيوم أيون، حيث يتم لحام الخلايا والموصلات بدقة.

تضمن هذه التقنية توصيلات كهربائية عالية الجودة وأمانًا كبيرًا.

3. لحام أنظمة العادم:

يتم لحام الأنابيب والمكونات المختلفة في أنظمة العادم باستخدام الليزر، مما يوفر وصلات قوية ومقاومة للحرارة.

4. لحام ناقل الحركة والمحركات:

تُستخدم أشعة الليزر للحام الأجزاء الدقيقة في اقل الحركة وأجزاء المحرك، مثل المبيت المعدني والصمامات.

5. إنتاج مكونات خفيفة الوزن:

تُستخدم تقنية اللحام بالليزر لدمج مواد خفيفة الوزن (مثل الألومنيوم والمغنيسيوم) لتحسين كفاءة الوقود وتقليل الانبعاثات.

أنواع الليزر المستخدمة في لحام السيارات

1. ليزر الألياف الضوئية (Fiber Laser):

يتميز بكفاءة عالية ودقة ممتازة، ويُستخدم بشكل أساسي في لحام الهياكل المعدنية.

2. ليزر ثاني أكسيد الكربون (CO2 Laser):

يُستخدم للحام الأجزاء الكبيرة والمواد غير المعدنية مثل البلاستيك المستخدم في التصميمات الداخلية.

3. ليزر Nd:YAG:

مناسب للحام المواضع الدقيقة والمكونات ذات الأشكال المعقدة.

مزايا اللحام بالليزر في صناعة السيارات:

1. تحسين جودة الوصلات:

يوفر اللحام بالليزر قوة وصلات عالية وخالية من العيوب.

2. تقليل الوزن:

يسمح بدمج مواد خفيفة الوزن، مما يقلل من وزن السيارة بشكل عام.

3. زيادة الكفاءة:

تتم العملية بسرعة كبيرة مقارنة باللحام التقليدي، مما يقلل من وقت التصنيع.

4. تقليل التشوهات الحرارية:

بفضل التركيز العالي للطاقة في منطقة صغيرة، تقل التشوهات في الأجزاء المحيطة بالمادة لملمومة.

5. إمكانية إتمام العملية:

يمكن دمج أنظمة اللحام بالليزر مع الروبوتات، مما يزيد من الكفاءة والإنتاجية.

أمثلة على تطبيقات اللحام بالليزر في السيارات:

هيكل السيارة:

يتم لحام السقف والأبواب لخلق وصلات قوية وخفيفة الوزن.

أنظمة الأمان:

تُستخدم لتجميع أنظمة الأمان مثل أحزمة الأمان وأكياس الهواء.

الشاسيه:

لحام الإطارات والمحاور لتوفير صلابة ميكانيكية وأداء عالٍ.

مستقبل اللحام بالليزر في صناعة السيارات:

مع التحول نحو السيارات الكهربائية والمركبات ذاتية القيادة، من المتوقع أن يصبح اللحام بالليزر أكثر أهمية. فهو يتيح استخدام مواد جديدة وتصاميم مبتكرة، كما يدعم الإنتاج الضخم مع الحفاظ على جودة ودقة التصنيع.

التنظيف بالليزر:

التنظيف بالليزر هو تقنية حديثة ومتطورة تعتمد على استخدام أشعة الليزر لإزالة الشوائب، الأوساخ، الطلاء، والصدأ من الأسطح المختلفة بطريقة غير تلامسية ودقيقة. يُعتبر التنظيف بالليزر بديلاً صديقاً للبيئة وأكثر كفاءة مقارنةً بالطرق التقليدية مثل التنظيف الكيميائي أو الرملي.

آلية عمل التنظيف بالليزر:

يعتمد التنظيف بالليزر على إرسال نبضات قصيرة ومركزة من أشعة الليزر إلى السطح المستهدف. تقوم هذه النبضات برفع درجة حرارة المادة الملوثّة بسرعة، مما يؤدي إلى تبخره أو تفككها إلى جزيئات صغيرة يتم إزالتها بسهولة.

عدم التأثير على المادة الأساسية: يتم التحكم في شدة الليزر بحيث يتم استهداف المواد غير المرغوب فيها فقط دون إلحاق الضرر بالمادة الأصلية.

التنظيف الانتقائي: يمكن ضبط الليزر لإزالة مواد محددة دون التأثير على المواد الأخرى المحيطة.

تطبيقات التنظيف بالليزر

1. إزالة الصدأ والتآكل:

تُستخدم هذه التقنية لإزالة طبقات الصدأ عن المعادن، مما يعيدها إلى حالتها الأصلية دون الحاجة إلى استخدام المواد الكيميائية.

تُعد مثالية لصيانة الأجزاء المعدنية الكبيرة مثل الهياكل الحديدية والمعدات الصناعية.

2. إزالة الطلاء:

يمكن استخدام الليزر لإزالة الطلاء من الأسطح المعدنية والبلاستيكية دون التأثير على المادة الأساسية.

تُستخدم هذه الطريقة في الصناعات الجوية، حيث يتم تنظيف هياكل الطائرات دون الإضرار بها.

3. تنظيف القوالب الصناعية:

تُستخدم أشعة الليزر لتنظيف قوالب البلاستيك والمطاط المستخدمة في الصناعات المختلفة، مما يُطيل عمر القوالب ويحسن جودة المنتجات.

4. التنظيف في الصناعات الدقيقة:

تُستخدم التقنية في إزالة الشوائب الدقيقة عن المكونات الإلكترونية والدوائر المطبوع.

تُعد مثالية للأجهزة الحساسة مثل المجسات والأجهزة الطبية.

5. تنظيف القطع الأثرية:

تُستخدم أشعة الليزر في تنظيف التحف والآثار القديمة دون الإضرار بالمواد الأصلية، مما يجعلها أداة قيمة في مجال الحفاظ على التراث الثقافي.

6. إزالة الشحوم والزيوت:

تُستخدم التقنية في تنظيف المعدات الصناعية وإزالة طبقات الزيوت والشحوم دون الحاجة إلى مواد كيميائية.

مزايا التنظيف بالليزر:

1. صديق للبيئة:

لا ينتج عن التنظيف بالليزر أي نفايات كيميائية، مما يجعله خيارًا مستدامًا.

2. غير تلامسي وآمن:

لا يتطلب ملامسة مباشرة بين الأداة والسطح، مما يقلل من التآكل أو التلف.

3. دقة عالية:

يمكن ضبط أشعة الليزر لتنظيف مساحات صغيرة أو إزالة طبقات دقيقة جدًا من المواد.

4. مرونة في التطبيق:

يمكن استخدامه على مجموعة واسعة من المواد مثل المعادن، البلاستيك، الزجاج، والحجر.

5. كفاءة وسرعة:

يمكن تنفيذ عمليات التنظيف بسرعة مقارنة بالطرق التقليدية.

6. تقليل التكاليف على المدى الطويل:

يقلل من الحاجة إلى المواد الكيميائية وأعمال الصيانة، مما يساهم في توفير التكاليف.

عيوب التنظيف بالليزر:

- التكلفة الأولية المرتفعة:

- تحتاج أجهزة التنظيف بالليزر إلى استثمار كبير عند الشراء.
- تحديد المواد:
- قد تكون بعض المواد غير مناسبة للتنظيف بالليزر.
- تدريب المستخدمين:
- يتطلب تشغيل الجهاز مهارات تقنية لتجنب حدوث أضرار غير متوقعة.

استخدامات مستقبلية للتنظيف بالليزر:

صناعات الفضاء:

لتنظيف أجزاء الأقمار الصناعية ومركبات الفضاء

تنظيف البنية التحتية:

مثل الكباري والهياكل المعدنية العملاقة.

التطبيقات الطبية:

لتنظيف الأدوات الجراحية والأجهزة الطبية الحساسة.

التنظيف بالليزر يُعد من التقنيات الثورية التي توفر حلاً مستدامة وكفؤة للصناعات المختلفة، مع تحسين الجودة وتقليل التأثير البيئي.



آلية التنظيف بالليزر

الفصل الرابع

المقارنة

تشهد التقنيات الصناعية تطورًا مستمرًا يهدف إلى تحسين الكفاءة والجودة وتقليل التكلفة. ومن أبرز التطورات الحديثة التي أثرت بشكل كبير في مجال التصنيع، هو استخدام أشعة الليزر كبديل متقدم للطرق التقليدية في عمليات القطع، اللحام، والتنظيف.

بينما تعتمد الطرق التقليدية على أدوات ميكانيكية أو كيميائية غالبًا ما تكون محدودة في الدقة وتستهلك وقتًا وطاقة أكبر، توفر أشعة الليزر حلولاً متقدمة تتميز بالدقة العالية، السرعة، والكفاءة.

هذا الفصل يهدف إلى مقارنة أداء وفوائد كل من الطرق التقليدية وأشعة الليزر في العمليات الصناعية الرئيسية الثلاث: القطع، اللحام، والتنظيف، مع التركيز على تأثير كل منهما على السرعة والجودة، القوة والمتانة، النواحي التصميمية والجمالية، التكاليف الاقتصادية.

تسلط هذه الدراسة الضوء على مزايا وعيوب كل طريقة، وتقدم رؤى حول الاختيار الأمثل لتلبية احتياجات الصناعة الحديثة.

عند مقارنة الطرق التقليدية بالاعتماد على أشعة الليزر في القطع، اللحام، والتنظيف من حيث السرعة والجودة، نجد ما يلي:

القطع:

الطرق التقليدية مثل النشر والقص تتميز بسرعات منخفضة نسبيًا، خاصة عند التعامل مع المواد الصلبة أو التصميم المعقد. بالإضافة إلى ذلك، تكون جودة القطع أقل، مع أسطح خشنة وحواف تحتاج إلى معالجة إضافية للتشطيب.

استخدام الليزر يوفر سرعة أعلى بكثير، حيث يمكن إتمام القطع في وقت قصير حتى مع التصميم المعقد. الجودة الناتجة فائقة، وتكون الأسطح ناعمة ودقيقة، مما يُغني عن الحاجة إلى أي معالجة إضافية.

اللحام:

في الطرق التقليدية مثل اللحام بالقوس الكهربائي أو الغاز، السرعة معتدلة لكنها تصبح أبطأ مع الأجزاء الدقيقة أو عند الحاجة إلى دقة عالية. كما أن التلوثات الحرارية الناتجة عن اللحام التقليدي تؤثر على جودة المنتج النهائي.

مع اللحام بالليزر، العملية أسرع بكثير بسبب تركيز الطاقة في نقطة صغيرة، مما يقلل الوقت المطلوب. كما أن الجودة أفضل بكثير مع لحامات دقيقة خالية من التلوثات الحرارية أو العيوب الظاهرة.

التنظيف:

الطرق التقليدية مثل الرملي أو التنظيف الكيميائي تتطلب وقتًا أطول، خصوصًا في إزالة الطبقات السميكة أو تنظيف الأسطح المعقدة. غالبًا ما تكون الجودة متوسطة مع احتمال تلف المادة الأساسية أو خدشها.

التنظيف بالليزر يتم بسرعة فائقة، حيث يمكن إزالة الشوائب والصدأ والطلاء في وقت قصير جدًا. الجودة تكون مثالية، مع حماية المادة الأساسية وعدم التسبب في أي أضرار سطحية.

الخلاصة:

من حيث السرعة:

أشعة الليزر أسرع بشكل ملحوظ في جميع العمليات مقارنة بالطرق التقليدية.

من حيث الجودة:

توفر تقنية الليزر دقة وجودة فائقة، مع أسطح ناعمة، ولحامات دقيقة، وتنظيف آمن دون أضرار، مما يجعلها الخيار الأفضل للأعمال التي تتطلب مستوى عالٍ من الكفاءة والجودة.

الاختيار:

إذا كانت السرعة والدقة من الأولويات، فإن أشعة الليزر تتفوق بشكل كبير على الطرق التقليدية.

عند مقارنة الطرق التقليدية بأشعة الليزر في القطع، اللحام، والتنظيف من حيث القوة والمتانة، يمكن توضيح الفروق كما يلي:

القطع:

الطرق التقليدية:

عادةً ما تؤدي إلى قطع يتميز بحواف غير متساوية أو بها تشققات صغيرة تؤثر على قوة المادة عند استخدامها لاحقًا. التآكل الميكانيكي الناتج عن أدوات القطع يمكن أن يضعف بعض المواد، خاصة إذا كانت تتعرض لضغط إضافي.

أشعة الليزر:

توفر قطعًا دقيقًا ونظيفًا يحافظ على متانة المادة الأصلية، حيث لا يوجد تلامس مباشر يؤدي إلى إجهاد المادة. يتم تقليل فرص حدوث التشققات أو التأثير على البنية الداخلية للمادة، مما يعزز القوة الكلية.

اللحام:

الطرق التقليدية:

مثل اللحام بالقوس الكهربائي، تنتج وصلات قوية، لكنها غالبًا ما تعاني من تأثير التشوهات الحرارية، مما قد يؤدي إلى ضعف في مناطق معينة بالقرب من اللحام (المناطق المتأثرة بالحرارة).

اللحام بالليزر:

يوفر وصلات قوية جدًا بفضل تركيز الطاقة الدقيق وقلة التشوهات الحرارية. اللحام الناتج يكون متينًا للغاية، ويستخدم بشكل خاص في التطبيقات التي تتطلب قوة تحمل عالية مثل صناعة السيارات والطائرات.

التنظيف:

الطرق التقليدية:

مثل التنظيف الرملي والكيميائي، قد تؤثر على متانة السطح بسبب الخدوش أو التآكل الناتج عن استخدام مواد كاشطة أو تفاعلات كيميائية. هذه الطرق قد تضعف السطح بمرور الوقت.

التنظيف بالليزر:

يحافظ على القوة والمتانة الأصلية للمادة لأنه لا يتسبب في أي تلامس أو خدش. يتم إزالة الطبقات غير المرغوبة دون التأثير على البنية الأساسية أو جودة المادة.

الخلاصة:

الطرق التقليدية قد تؤثر سلبًا على القوة والمتانة بسبب التشوهات الميكانيكية أو الحرارية، خاصة في التطبيقات الحساسة. أشعة الليزر تقدم أداءً متميزًا في الحفاظ على المتانة والقوة الآلية للمادة، سواء في القطع أو اللحام أو التنظيف، مما يجعلها الخيار الأفضل للتطبيقات التي تتطلب دقة وقوة طويلة الأمد.

عند مقارنة الطرق التقليدية مع أشعة الليزر من حيث النواحي التصميمية والجمالية في القطع، اللحام، والتنظيف، نجد الفروقات التالية:

القطع:

الطرق التقليدية:

تُظهر قيودًا واضحة في النواحي التصميمية، حيث يصعب تحقيق الأشكال المعقدة أو التفاصيل الدقيقة باستخدام أدوات مثل المناشير أو المقصات. كما أن السطح الناتج غالبًا ما يكون خشنًا ويحتاج إلى تشطيب إضافي للحصول على مظهر جمالي مقبول.

استخدام الليزر:

يُمكن من تنفيذ تصميمات معقدة ودقيقة بسهولة، بما في ذلك النقوش الهندسية أو الزخارف المتطورة. كما أن القطع الناتج يتميز بحواف نظيفة وناعمة، مما يعزز المظهر الجمالي دون الحاجة إلى معالجة إضافية.

اللحام:

الطرق التقليدية:

اللحام التقليدي يترك غالبًا علامات واضحة أو تشوهات حرارية على السطح، مما يقلل من جمالية العمل. كما أن الدقة المنخفضة قد تجعل من الصعب لحام التفاصيل الصغيرة أو الأجزاء الدقيقة في التصاميم.

اللحام بالليزر:

يقدم لحامات دقيقة جدًا مع خطوط ناعمة وخالية من التشوهات الظاهرة. تُعتبر تقنية اللحام بالليزر مثالية للأعمال التي تتطلب لمسة جمالية مثل الأعمال الفنية، المنتجات الطبية، أو الإلكترونيات الدقيقة.

التنظيف:

الطرق التقليدية:

التنظيف باستخدام الطرق التقليدية مثل الرملي أو الكيميائي قد يترك آثارًا جانبية مثل الخدوش أو التآكل، مما يؤثر سلبًا على المظهر العام للمادة.

التنظيف بالليزر:

يوفر تنظيفًا دقيقًا دون التأثير على المادة الأصلية، مما يحافظ على جمال السطح ويعطيه مظهرًا نظيفًا ومثاليًا، خاصة في الحالات التي تتطلب استعادة المواد القديمة أو القطع الأثرية.

الخلاصة:

من الناحية التصميمية، تتيح أشعة الليزر حرية أكبر في تحقيق تصميمات دقيقة ومعقدة غير ممكنة باستخدام الطرق التقليدية.

من الناحية الجمالية، الليزر تقنية الليزر من جودة المخرجات، سواء في القطع أو اللحام أو التنظيف، حيث تقدم أسطحًا نظيفة وخالية من العيوب مع الحفاظ على التفاصيل الدقيقة والجاذبية البصرية.

الطرق التقليدية قد تكون كافية للأعمال البسيطة، لكنها تفتقر إلى الدقة والجمال المطلوبين في المشاريع الراقية أو التي تحتاج إلى مستوى عالٍ من الإتقان.

المقارنة بين الطرق التقليدية وأشعة الليزر من حيث التكاليف الاقتصادية تعتمد على عدة عوامل، منها المعدات، المواد المستخدمة، سرعة العمل، والجودة النهائية. فيما يلي مقارنة شاملة:

1. التكاليف الأولية (شراء المعدات)

الطرق التقليدية:

المعدات المستخدمة (آلات القطع، اللحام اليدوي أو الآلي، أدوات التنظيف) أقل تكلفة مبدئيًا.

تحتاج إلى شراء قطع غيار وصيانة دورية.

أشعة الليزر:

تكلفة المعدات مرتفعة جدًا (أجهزة الليزر وأنظمة التوجيه والبصريات).

التقنية تحتاج إلى استثمار أولي كبير، خاصة للمشاريع الصغيرة.

2. التكاليف التشغيلية

الطرق التقليدية:

تحتاج إلى مواد استهلاكية مثل الأقطاب والأسلاك والغازات (مثل الأكسجين والأسيتيلين).

استهلاك الطاقة أقل مقارنة بأجهزة الليزر.

يتطلب أيدي عاملة أكثر، مما يزيد التكلفة.

أشعة الليزر:

تستهلك طاقة كهربائية أكبر، ولكن بعض الأنظمة الموفرة للطاقة تقلل الاستهلاك.

تكاليف المواد الإضافية أقل (لا حاجة إلى أقطاب أو غازات في بعض التطبيقات).

3. الإنتاجية وسرعة العمل:

الطرق التقليدية:

بطيئة نسبيًا مقارنة بالليزر.

يتطلب وقتًا إضافيًا لإعداد السطح أو لإعادة العمل إذا لم يكن المل دقيقًا.

أشعة الليزر:

سريعة جدًا ودقيقة، مما يوفر الوقت والمواد.

تقليل الحاجة إلى إعادة العمل بسبب دقة الأداء.

4. الجودة النهائية والتكلفة المترتبة

الطرق التقليدية:

قد تتطلب عمليات تنظيف إضافية أو تشطيب يدوي لتحقيق الجودة المطلوبة.

يمكن أن تزيد التكاليف إذا تطلب الأمر إعادة العمل بسبب أخطاء.

أشعة الليزر:

جودة عالية للغاية، حيث أن القطع واللحام والتنظيف يتم بدقة دون تشويه السطح.

يقلل من الهدر ومن الحاجة إلى عمليات إضافية، مما يقلل التكلفة النهائية.

5. الصيانة والتكاليف طويلة الأمد

الطرق التقليدية:

صيانة منخفضة التكلفة نسبيًا، لكنها متكررة بسبب كثرة استهلاك الأجزاء.

أشعة الليزر:

صيانة معقدة ومكلفة نظرًا لتقنيات الأجهزة، لكنها أقل تكرارًا.

6. العمالة وتكلفتها

الطرق التقليدية:

تحتاج إلى عدد كبير من العمال، مما يزيد التكلفة.

تتطلب مهارات أقل نسبيًا.

أشعة الليزر:

تحتاج إلى عمالة أقل، لكن العمال يجب أن يكونوا مدربين على استخدام التقنية.

الخلاصة الاقتصادية:

الطرق التقليدية مناسبة إذا كان رأس المال محدودًا أو إذا كانت الحاجة للإنتاجية والجودة أقل.

أشعة الليزر أكثر كفاءة على المدى الطويل في المشاريع ذات الإنتاجية العالية والجودة الدقيقة، رغم ارتفاع تكاليفها الأولية.

الاختيار الأمثل يعتمد على حجم المشروع، نوع التطبيق، والميزانية المتاحة.

عامل المقارنة	استخدام أشعة الليزر	استخدام الطرق التقليدية
السرعة	<ul style="list-style-type: none"> سرعة عالية جداً بسبب الدقة وسرعة التوجيه. 	<ul style="list-style-type: none"> سرعة أقل نسبياً بسبب العمليات اليدوية أو الميكانيكية
الجودة	<ul style="list-style-type: none"> جودة عالية بسبب الدقة الميكروية وقلة التشوه. 	<ul style="list-style-type: none"> جودة أقل بسبب الأخطاء البشرية أو التآكل في الأدوات.
القوة و المتانة	<ul style="list-style-type: none"> قوة متفوقة ومتانة أكبر بسبب التحكم الدقيق في الحرارة. يقلل من العيوب مثل الشقوق والتشوهات. 	<ul style="list-style-type: none"> تعتمد علي نوع المواد المستخدمة و الخبرة في اللحام أو القطع. احتمال وجود عيوب مثل الفراغات أو التشققات
النواحي التصميمية والجمالية	<ul style="list-style-type: none"> إمكانية تنفيذ تصميمات دقيقة ومعقدة بأعلى مستوى جمالي سطح نظيف وخالي من العيوب. 	<ul style="list-style-type: none"> صعوبة في تحقيق تصميمات معقدة أو دقيقة قد يظهر تشوه أو عدم انتظام في الشكل النهائي
التكاليف الاقتصادية	<ul style="list-style-type: none"> تكاليف أولية مرتفعة بسبب الأجهزة المتقدمة. تكاليف تشغيل وصيانة أقل علي المدى الطويل. 	<ul style="list-style-type: none"> تكاليف أولية أقل بسبب قلة الاعتماد علي المعدات المتطورة. تكاليف صيانة دورية أعلى بسبب التآكل أو استبدال الأدوات.

الخلاصة:

الليزر يتفوق في السرعة، الدقة، المتانة، والجمالية، مع تكاليف تشغيل أقل على المدى الطويل رغم التكاليف الأولية المرتفعة. الطرق التقليدية أقل تكلفة في البداية، لكنها أبطأ وجودتها أقل، وتحتاج إلى صيانة متكررة، مما يجعلها مناسبة للمشاريع البسيطة والصغيرة.

الفصل الخامس

الخاتمة

(Conclusion)

في ختام هذا البحث، نؤكد أن أشعة الليزر قد أصبحت ركيزة أساسية في الصناعة الحديثة، نظرًا لقدرتها على تحقيق نقلة نوعية في العمليات الإنتاجية. فمن خلال ميزاتها الفريدة، مثل الدقة العالية، الطاقة المركزة، وسرعة التنفيذ، تمكنت تقنية الليزر من إحداث ثورة في مجالات متعددة، تشمل القطع واللحام والتنظيف والطباعة ثلاثية الأبعاد والمعالجة الحرارية، بالإضافة إلى النقش والوسم على المواد المختلفة.

مقارنة بالأساليب التقليدية، أظهرت تقنيات الليزر تفوقًا كبيرًا، حيث أسهمت في تقليل الفاقد من المواد، تحسين جودة المنتجات النهائية، خفض التكلفة على المدى الطويل، وتعزيز الكفاءة التشغيلية. إلى جانب ذلك، تعتبر هذه التقنية أكثر صداقة للبيئة نظرًا لاعتمادها على عمليات نظيفة ومستدامة لا تتطلب استخدام المواد الكيميائية الضارة أو كميات كبيرة من الطاقة.

ومع التطورات المتسارعة في مجالات الذكاء الاصطناعي والروبوتات، يُتوقع أن تستمر تقنية الليزر في التوسع والابتكار، مما يفتح الباب أمام تطبيقات جديدة لم تكن ممكنة من قبل. ولتحقيق أقصى استفادة من هذه التقنية الواعدة، من الضروري أن تستثمر المؤسسات الصناعية في البحث والتطوير، وتعمل على تدريب القوى العاملة وتأهيلها لاستخدام هذه الأدوات المتقدمة بكفاءة وأمان.

بهذا، نستطيع القول إن تقنية الليزر لا تمثل فقط أداة صناعية فعالة، بل تشكل حجر الزاوية في بناء مستقبل صناعي قائم على الابتكار والاستدامة، قادر على تلبيّة احتياجات العصر ومتطلباته المتزايدة.

التوصيات:

1. زيادة الاستثمار في أبحاث الليزر: لتطوير تقنيات جديدة وتحسين الكفاءة.
2. تعزيز التدريب المهني: لتأهيل العاملين على استخدام أجهزة الليزر بكفاءة وأمان.
3. تشجيع استخدام الليزر في الصناعات المحلية: للحد من التكاليف وزيادة الإنتاجية.
4. التركيز على التطبيقات المستدامة: مثل استخدام الليزر في تقليل النفايات الصناعية.
5. التعاون مع الجامعات ومراكز الأبحاث: لإيجاد حلول مبتكرة لتحسين استخدام الليزر في العمليات الصناعية.

المراجع: REFERENCES

1. "Laser Materials Processing"
E. U. C. Laskowski : 2004
 2. "Introduction to Laser Technology"
Jeff Hecht : (الإصدار الرابع) 2015
 3. "Laser Welding: A Practical Guide" G. K. Knorowski : 2007
 4. "Industrial Laser Handbook" H. S. H. Chou : 1992
 5. "Handbook of Laser Technology and Applications" Colin Webb, Julian D. C. Jones : 2003
 6. "Lasers in Materials Processing" William M. Steen : (الإصدار الثالث) 2003
 7. "Laser Applications in Microelectronic Manufacturing" David C. O'Sullivan : 2001
1. "تقنية الليزر وتطبيقاتها في الصناعة" د. ناصر عبد الله الجبري : 2007
 2. "أساسيات الليزر وتطبيقاته" مصطفى عبد الرؤوف عبد الله : 2010
 3. "تطبيقات الليزر في الصناعة" د. أحمد عبد المجيد عبد الرحمن : 2013
 4. "مقدمة في تقنية الليزر" : د. محمود أحمد علي: 2005
 5. "الليزر وتطبيقاته في الصناعة" د. محمد سعيد أحمد: 2011