الفصل الأول

1.1 المقدمة:

الليزر هو الوسيلة الرائعة والمرعبة في الوقت نفسه ، والتي زودتنا بحلول سحرية للعديد من المسائل منذ إختراعها في عام 1960م.[1]

وتتضمن كلمة الليزر الأحرف الأولى من كلمات العبارة الإنجليزية التالية:

Light Amplification by stimulated Emission of Radiation وتعني تقوية الضوء بواسطة الانبعاث المستحث للإشعاع , فالليزر لم يكن إكتشافه وليد الصدفة إنما ظهر نتيجة تطور نظريات الفيزياء الذرية وميكانيك الكم ، ويمكن إرجاع النظرية الاساسية لليزر إلى النظرية الذرية لاينشتاين عام 1917م.[2]

ويعتبر الليزر من أهم إبتكارات هذا العصر ويستخدم حالياً لأغراض متعددة ، وفي كثير من حقول الأبحاث العلمية والتقنية المختلفة بما فيها العلوم الطبيعية كالفيزياء والكيمياء وعلوم الحياة كذلك في الطب والصناعة وعالم الإلكترونيات ،إذ تتمكن الليزرات عالية القدرة من تدمير الطائرات في أثناء تحليقها ، وأن تقطع الفولاذ الصلب وكأنه قطعة من الجبنة. [3]

وهناك دراسات سابقة عديدة اجريت فيما يخص مقدرة الليزر على القطع, ففي دراسة اجراها الباحث محمدي حسان بمعهد الليزر بجامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا [4] قام الباحث بإستخدام ليزر الانديك لقطع الواح من مادة البيرسبكس التجاري التي سمكها 2mm واظهرت نتائج بحثه ان هناك علاقة عكسية بين سرعة القطع وعمق القطع, وكذلك وجد ان هناك علاقة طردية بين عمق القطع وقدرة الليزر المستخدمة. وفي بحث اخر اجراه الباحث ابو النور عابدين [5] بنفس المعهد قام بالمقارنة بين طريقتين من طرق اللحام بالقصدير وهما الطريقة التقليدية وطريقة الليزر, واظهرت التجارب ان اللحام بالليزر يتم بطريقة اسرع وانظف كما انه يمكن ان يستخدم الليزر للحام الاجزاء الداخلية والحساسة التي يصعب الوصول اليها بالطرق التقليدية.

2.1 مشكلة البحث:

الطرق التقليدية المستخدمة في العمليات الصناعية(قطع، لحام، تثقيب، تصليد) تستغرق زمن اطول وتحتاج لمجهود اكبر لذلك لابد من إستخدام وسيلة اخرى لتوفير الوقت والطاقة وهي الليزر.

3.1 أهداف البحث:

- الإستفادة من دقة تركيز الليزر وطاقته العالية لإستخدامه في القطع.
- التعرف على تطبيقات الليزر في مجال الصناعة.

4.1 أهمية البحث:

تأتي أهمية هذا البحث في توفير الطاقة والوقت وذلك عند إستخدام الليزر في عملية القطع.

5.1 محتوى البحث:

هذا البحث يحتوي على اربعة فصول، الفصل الأول المقدمة، الفصل الثاني طبيعة الليزر (مفاهيم اساسية في الليزر، مكونات المنظومة الليزرية، خصائص ومميزات اشعة الليزر، أنواع الليزر، تطبيقات الليزر) وفي الفصل الثالث تطبيقات الليزر في الصناعة(تصليد السطوح المعدنية ، تصنيع المواد شبه الموصلة ، اللحام ، القطع والتثقيب) أما الفصل الرابع فهو عبارة عن الجانب العملي ومناقشة النتائج.

6.1 منهجية البحث:

استخدم في هذا البحث المنهج التجريبي.

الفصل الثاني
طبيعة الليزر

1.2 المقدمة:

في عام 1917م إكتشف العالم الفيزيائي البرت انشتاين بأنه تحت شروط معينة تستطيع الذرات والجزيئات وهي المكونات الأساسية لكل المواد إمتصاص الضوء او أي طاقة أخرى ومن ثم يمكن حث هذه الذرات على بعث ما إستعارته من طاقة على شكل جسيمات ضوئية. وعلى أثر ذلك وبين 1950 -1958 إقترح كل من الدكتور جارلس تاونس وارثر سالوه من الولايات المتحدة تكبير إشعاعات هذه الجسيمات الضوئية بطريقة الانبعاث المحث stimulated emission وقد صمم جهازا لهذا الغرض ، أستخدمت فيه مادة غاز الأمونيا للحصول على أول شعاع ليزري في منطقة المايكرويف "الامواج الدقيقة" عرف هذا الجهاز انذاك بإسم الميزر ""maser" والذى نالوا عليه جائزة نوبل للفيزياء سنة 1964م [1], ومن ناحية أخرى قام الدكتور ميمن عام 1960م في إستعمال مادة الياقوت الصناعي لإنتاج شعاع ليزري في المنطقة المرئية من الطيف وعرف هذا الجهاز بالروبي ليزرRuby laserوهو يبعث شعاعاً فريداً من نوعه قرمزياللون يفوق الشمس بريقاً . ومن ذلك الحين وأسم الليزر لم يتوقف عن التشعب المذهل في التصميم والقدرات، وجارفاً معه الكثير من الباحثين والعلماء وفاتحاً المجال لعدد لايحصى من التطبيقات والأعمال .[1]

2.2 مفاهيم أساسية في الليزر:

للحصول على أشعة الليزر من الضروري توفر الشروط الآتية:

1.2.2 الامتصاص:

تكون الذرة في الحالة الأرضية إن لم يكن هنالك ما يسبب إثارتها أو تهيجها ، وقد يتم تحريضها عن طريق تشعيعها بطاقة إشعاع كهرومغناطيسي ذي تردد معين يكفي لأن تنتقل الذرة من المستوى الأرضي إلى مستوى الطاقة المراد رفعها إليه ، إن لهذه العملية احتمالية محددة للذرة لكي ترفعها إلى المستوى المطلوب بالرغم من توفر الإشعاع بالتردد المناسب ، وإن هذه الاحتمالية لا تعتمد فقط على طاقة المستويين المعنيين بعملية الامتصاص ، وإنما أيضاً على شدة الإشعاع الساقط.[2]

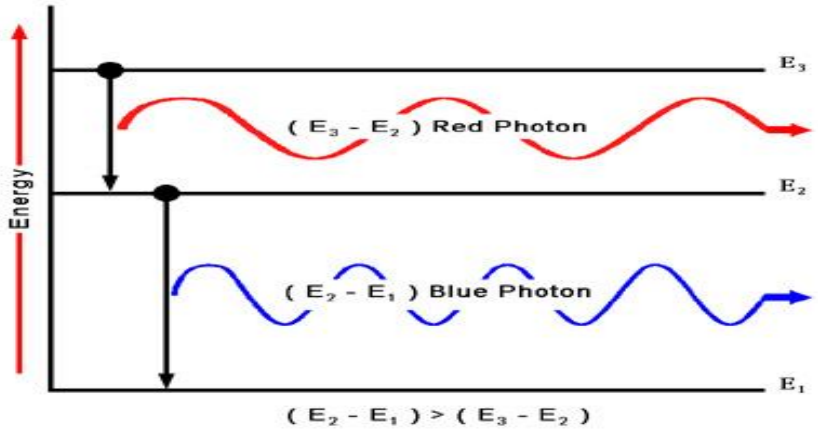
2.2.2 الانبعاث التلقائي:

عند تهيج ذرات المادة أي إنتقال الإلكترونات فيها إلى مستويات طاقة أعلى من المستوى الأرضي ، فإن الذرة تبقى فترة زمنية بحالتها المتهيجة هذه ، ثم تهبط تلقائياً وبدون أي مؤثر خارجي إلى حالتها الأرضية ، وتكون هذه الإنتقالات عشوائية غير منتظمة مع الزمن ويصحب هذا إنبعاث طيف الذرة.[3]

إن الزمن الذي تبقى فيه الذرة في مستوى معين هو من خصائص ذلك المستوى ، وتختلف أزمان بقاء هذه الذرات باختلاف الذرة التي تتكون منها المادة ، إن جميع مصادر الضوء التقليدية تعمل على أساس الإنبعاث التلقائي ، وفيما يلي مجمل خصائص الضوء المنبعث من مصدر طيفي:

1. إن الطيف المنبعث للذرات الهائلة يكون ذا أطوال موجبة متعددة.
2. الإنتقال الذي تحدثه ذرات متهيجة ليس له علاقة طور محددة بالإنتقال الذي تحدثه ذرة أخرى.
3. إن الموجات الكهرومغناطيسية المنبعثة نتيجة لإنتقال ذرة محرضة قد تنبعث بأي إتجاه ، فالإنبعاث يكون عموماً في الأبعاد الثلاثة.[3]

شكل رقم (1) الإنبعاث التلقائي



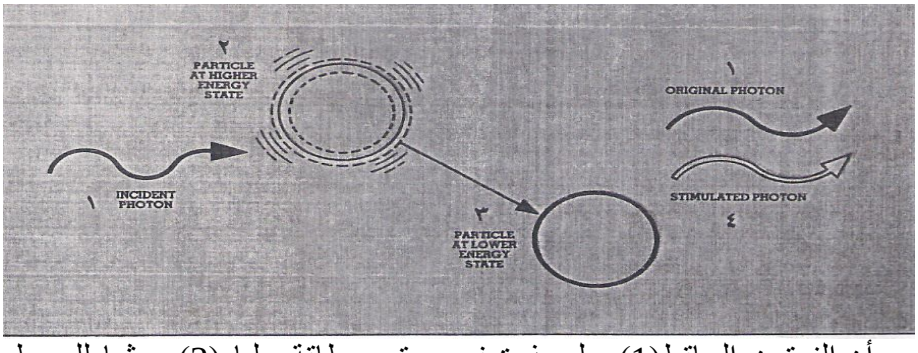
3.2.2 الإنبعاث المحفز:

يتم هذا الانبعاث عن طريق تحفيز الذرة وهي في المستوى المثار لكي تنتقل إلى مستوى أدنى ، ويتم ذلك بواسطة إثارة هذه الذرة بفوتون له طاقة مساوية تماماً لفرق الطاقة بين المستويين، مما يؤدي إلى انبعاث فوتون ثاني له نفس التردد ونفس الطول الموجي للفوتون لمحفز ، إلاّ أن احتمالية هذه العملية لا تعتمد فقط على المستويين ،ولكنها تعتمد أيضاً على شدة الإشعاع الكهرومغناطيسي المحفز.

الصفات التي يتميز بها الضوء الصادر عن الانبعاث المحفز هي:

1. إن الطيف الناتج هو طيف انتقال معين محدد بطول موجة أو تردد، وأن الانتقال بين مستويين والذي يساوي تردد الضوء الساقط المحفز فهو إذن طيف لون واحد، والموجة المنبعثة يكون لها نفس طول الموجة الساقطة، فتترابط معها وتدعى الموجة الناتجة بالموجة المتشاكهة.[3]
2. بما أن حالة الانبعاث هذه نتيجة عملية اضطرارية تسببها الموجة الساقطة ، فالموجة المنبعثة من الذرة في هذه الحالة يكون لها نفس طور الموجة الساقطة ، فتترابط معها وتدعى الموجة الناتجة بالموجة المتشاكهة. [3]
3. اتجاه الموجة الساقطة يحدد اتجاه الموجة المنبعثة ، فالإشعاع المحفز يكون ملازماً للإشعاع الساقط وباتجاهه.[3]

شكل رقم (2) الإنبعاث المحفز



الشكل يوضح أن:الفوتون الساقط(1) على ذرة في مستوى طاقة عليا (2) يحثها للهبوط في مستوى طاقة أقل (3) باعثة فوتون طاقته مساوية للفرق بين طاقة المستويين وهذا الفوتون (4) المستحث له طور مشابه للفوتون المسبب للحث(1).[1]

4.2.2 التعداد المعكوس:

يتطلب إنبعاث الليزر العمل على زيادة عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا ، أي زيادة تعدادها عن الحالة الطبيعية فيها بإستخدام طاقة خارجية مثلاً ، وعندما يكون عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا أكثر من عدد الذرات في مستويات الطاقة الدنيا نستطيع القول بأنه حصل انقلاب سكاني أو عكس التعداد ، وهو ما سميناه بالتعداد المعكوس وتحت هذه الشروط يكون احتمال حدوث الانبعاث المحفز كبير ، ويمكن الحصول على فوتونات مترابطة في الطور مع بعضها البعض. فالتعداد

المعكوس هو الذي يجعل الضوء الذي تنتجه المادة ليزراً وإذا لم نصل إلى مرحلة إنقلاب التعداد نحصل على ضوء عادي.[6]

5.2.2 الضخ:

عندما تجبر مجموعة من الذرات أو الجزيئات لتكون في وضع متهيج ، أي تمتلك طاقة عالية بمعنى آخر الحصول على تعداد كثيف في مستويات الطاقة العليا ، فإن انبعاث فوتون مفرد خلال انتقال الذرة أو الجزئية إلى مستوى أقل سوف يحث غالبية الذرات الأخرى الموجودة في نفس مستويات الطاقة للإنتقال ، وبعث الطاقة الزائدة على شكل فوتون في الليزر النبضي Pulse laser ، يجب ضخ النظام مرة أخرى للحصول على تعداد معكوس آخر ، ونبضة ليزرية أخرى ، وذلك بعد اكمال عملية الانبعاث المحفز ورجوع غالبية الذرت المهيجة إلى وضع الاستقرار ، ويجرى عادة الضخ باستمرار إما بفوتونات خارجية أو بتفريغ كهربائي خصوصاً للمواد الغازية.

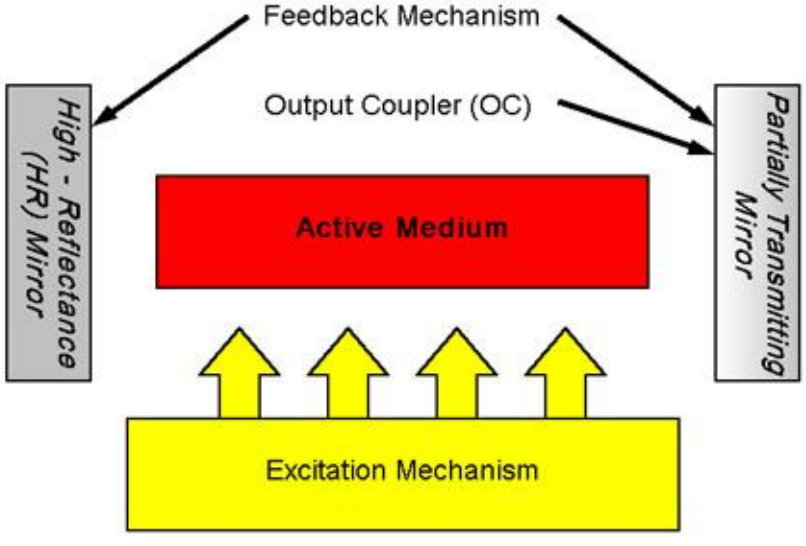
أما بالنسبة لليزرات التي تنتج إشعاع مستمر C.W بدلاً من حزمة نبضية فإنها تحتاج إلى وجود ثلاثة مستويات للطاقة لأحكام شرط التعداد المعكوس بدلاً من المستويين في حالة الإشعاع النبضي.

وفي هذا النوع تضخ الذرات باستمرار في مستويات الطاقة الأرضية إلى مستويات الطاقة العليا ، ومن ثم تنتقل هذه الذرات المتهيجة إلى مستوى ثالث وسطي قيمة طاقته تقع بين المستوى الأرضي والمستوى الأعلى.[6]

3.2 مكونات المنظومة الليزرية:

تتكون من ثلاثة عناصر أساسية مشتركة وهي:

شكل رقم (3) مكونات المنظومة الليزرية



[7]

High_Reflectance Mirror: مرآه عالية الإنعكاسية
Partialiy Transmitting Mirror: مرآه عاكسة جزئياً
Excitation Mechanism: الية الضخ
Active Medium: الوسط الفعال
Feedback Mechanism:الية التغذية الراجعة
Output Coupler: الخرج الناتج

1.3.2 الوسط الفعال:

ويقصد به الوسط أو (المادة) الذي تكون له قابلية احتواء التعداد المعكوس ، فقد يكون مجموعة من ذرات أو جزئيات أو أيونات عنصر أو مركب أو مزيج بحالة صلبة أو سائلة أو غازية ، اختيار

الوسط المناسب لإنبعاث أشعة الليزر وفق خطط ضخ ، ولظروف أكثر ملائمة يوفركثيراً من الطاقة اللازمة للضخ عن طريق تقليص الخسارة في الوسط نفسه. وتوافر المادة الفعالة بالكمية المناسبة، وقد تكون مكونة أو محاطة بالمرنان ومن أمثلة المواد الفعالة الشائعة الاستعمال حالياً:[6]

- البلورات الصلبة Crystalline مثل الياقوت Ruby Laser وعقيق الألمونيوم والزجاج المسمى بالياج Nd- Yag.
- المواد الغازية مثل خليط الهيليوم والنيون He – Ne.
- الغازات المتأينة Ionized gases مثل أول أكسيد الكربون co laser وثاني أكسيد الكربون co_2 – laser.
- الصبغات السائلة Liquid dyes وهي صبغات كيميائية عضوية مذابة في الماء.
- المواد الصلبة شبه الموصلة Semiconductors مثل أرسنيك الجاليوم Ga- As laser.[1]

2.3.2 مصدر الطاقة (طرق الضخ):

وهي التي تحدد طريقة الحث لإثارة المادة الفعالة وحثها على بعث إشعاع الليزروتتنوع مصادر الطاقة المستخدمة حالياً ومنها:-

1. **الطاقة الكهربائية:** وتتمثل في إستعمال الطاقة الكهربائية بأسلوبين مثل:-إستخدام مصادر الترددات الراديوية كطاقة داخلية اوإستخدام التفريغ الكهربائي في التيار المستمرمثل co_2 – laser وHe – Ne. لظاهرة التفريغ الكهربائي خلال الغازات دراسات وافية ، وغدت طريقة التفريغ الكهربائي الطريقة المعهودة اليوم لتهييج الغازات المختلفة في معظم مصادر الضوء التقليدية ، فلا غرابة أن تكون هذه الطريقة هي الأكثر ملائمة لتشغيل ليزر الغاز وللحصول على التفريغ الكهربي ، حيث يتم حصر الغاز الفعال أو خليط منه في أنبوب من الزجاج أو الكوارتز تزود بقطبين كهربائيين يسلطبواسطتهما فرق جهد عالٍ يكفي لإمرار تيار كهربائي خلال الغاز ، وقد يكون هذا التيار مستمر أو على شكل نبضات فيحدث تأيناً في الغاز ، وتعجل كل من الأيونات الموجبة والإلكترونات السالبة بواسطة المجال الكهربي ، فيكسبها هذا طاقة حركية إضافية تصبح حينئذ قادرة على تحريض الذرات عن طريق التصادم ، هذا التصادم يتم عادة بواسطة الإلكترونات السريعة وخاصةً لضغط منخفض للغاز، وإذا كان الغاز يتكون من مزيج من غازين مختلفين مثلاً ، فقد تحرض ذرة أحدهما الأخرى عن طريق التصادم فيما بينها ، وأيضاً بتصادم كل منهما مع الإلكترونات السريعة.[6]
2. **الطاقة الضوئية:** وهي المعروفة باسم الضخ الضوئي، ويمكن أن تنبعث من مصدرين رئيسيين:

أ. إستخدام المصابيح الوهاجة ذات القدرة الكبيرة، كما ليزر الياقوت Ruby laser ، وتكون عادة هذه المصابيح وميضية أي تبعث نبضات من الطاقة ، أما نوع الغاز المستخدم فيها وضغطه فيعتمد على المدى المطلوب من طول الموجة اللازم للضخ للمستويات ذات العلاقة، بعمل الليزر في خطة الضخ للوسط الفعال حيث تقوم ذرات أو جزئيات وسط الليزر بإمتصاص هذا الجزء من الإشعاع الصادر عن المصباح فتتهيج للمستوى المطلوب، ومن المصابيح المستخدمة مصباح الزينون والكربتون والنتروجين، تستخدم هذه الطريقة لضخ بلورة الياقوت أو النيودنيوم للحصول على ليزر في المنطقة الحمراء أو تحت الحمراء على التوالي.

ب. إستخدام إشعاع الليزر كمصدر طاقة إلى ليزر آخر، وهذا يعد نمو الليزر وانتاجه تجارياً ، وأصبح من السهل اجراء عملية الضخ الضوئي بصور انتقائية أي الضخ إلى المستوى المطلوب ، وذلك بإستخدام ليزر ذي طول موجي معين لضخ مادة فعالة والحصول على ليزر ذي مدى طول موجي يختلف عن الليزر المستخدم في عملية الضخ، وبهذه الطريقة يمكن توسيع نطاق الأطوال الموجية لليزر وتوفيرها. وهذه شائعة الإستخدام في انتاج إشعاعات ليزرية كثيرة في مناطق الطيف المختلفة ، مثال لذلك ليزرات الصبغات السائلة.[6]

3. الطاقة الكيميائية:

وفي هذه الحالة لا تحتاج إلى مصدر طاقة خارجي لضخ الوسط الفعال، فهي تتوفر ضمنياً كنتيجة للتفاعل الكميائي بين مادتين نتيجة التفاعل، وتوفير التعداد السكاني.[6]

4. الطاقة الحرارية:

يمكن أن يتسبب كل من الضغط الحركي للغازات والتغيرات في درجات الحرارة في حث وإثارة المواد لتبعث أشعة الليزر.[6]

3.3.2 حجرات الرنين (المرنان):

وهي الوعاء الحاوي والمنشط لعملية التكبير، والمقصود بالمرنان فجوة جدرانها الداخلية عاكسة ، وتحتوي على وسط متجانس متناظر عازل وغير فعال ، أما صيغة التذبذب في هذا المرنان فيعبر عنه بدلالة ترتيب الموجات الواقفة للإشعاع الكهرومغناطيسي، والذي يخضع لقوانين ماكسويل وشروط الانعكاس عن الجدران الثابتة ، وهذه هي صفات المرنان المستخدم في حالة الميزر ، بينما في حالة الليزر فالمرنان البصري يختلف عن ذلك المستخدم للأشعة المايكروية بنقطتين رئيسيتين هما:

1. مرنان الليزر مرنان مفتوح والمقصود بهذا عدم وجود جدران أو حواجز بصرية على الجوانب.
2. إن أبعاد المرنان كبيرة إذا ما قورنت بطول موجة الليزر.

المرنان البصري بشكل عام يتكون من مرآتين متقابلتين على مسافة من بعضهما البعض ، بحيث يتطابق محورهما البصري وكل منهما ذات قابلية انعكاس عالية، أحدهما شفافة جزئياً لتشكل مسرباً لليزر ، أما شكل المرآتين فقد تكونا مستويتين أو مقعرتين، أو إن أحدهما مستوية والاخرى مقعرة، أن تقنية المرايا وأشكالها كذلك الدقة في كيفية ترصيف المرايتين ، والمسافة بينهما تشكل عوامل لها تأثير كبير ومباشر على جوهر عملية توليد الليزر، واستمرار تشغيله وفي العادة يستخدم إما مرنان داخلي أو مرنان خارجي:

أ. **المرنان الداخلي:** يتمثل في طلاء نهايات المادة الفعالة لتعمل عمل المرآه ، كما في ليزرات بلورات الياقوت Ruby laser ، وليزر عقيق الألمونيوم والزجاج Nd- Yag laser ، وفي الليزرات الصلبة بصورة عامة.

ب. **المرنان الخارجي:** وهو مرآتان متوازيتان في نهاية الأنبوب الحاوي للمادة الفعالة ، وتكون الإنعكاسات المتعددة بينهما هي الأساس في عملية الضوء ، كما في الليزرات الغازية. وفي كل الحالتين يجب أن تكن إحدي المرآتين عاكسة كلياً للفوتونات الضوئية والأخرى تسمح بالنفاذ الجزئي ، لكي يتسنى لشعاع الليزر الخروج من خارج المرنان.[6]

4.2 خصائص ومميزات أشعة الليزر:

يتميز شعاع الليزر أياً كانت مادته أو منطقة طيفه بالخواص الرئيسية التالية:

1.4.2 أحادي اللون:

أي ذو عرض طيفي ضيق ينتج عنه تردد مفرد نقي، وهذه الصفة الموجية كانت تتميز بها الأشعة الراديوية دون سواها. يتم إحراز هذه الصفة نتيجة شرطين يتم تحقيقهما في عمل الليزر ، أولهما إمكانية تكبير الموجة الكهرومغنطيسية، وثانيهما إستخدام مخطط المرآتين المتقابلتين للعمل كفجوة رنينية، فهي تحدد تردد التذبذب فقط وفق ترددات الرنين الخاصة بها، وفي الحقيقة يكون لهذه الفجوة تأثير في اتساع الإشعاع الناتج ، فغالباً ما يكون هذا أصغر بكثير من الاتساع التقليدي الذي يعطيه الإنبعاث التلقائي للذرة في مصادر الضوء الاعتيادية.

إن هذا يؤدي ايضا إلى كون الطاقة المرافقة للإنبعاث مركزه ضمن نطاق ضيق ، وعليه تكون الشدة أعلى مما هي عليه في مصادر الضوء الاعتيادية ، عندما نبغى الحصول على ضوء احادي اللون منها. [3]

2.4.2 الترابط (التشاكهة):

ان صفة التشاكهة تتعلق بمتقلبات الطور والسعة وتغيراتهما مع الموضع في الفضاء ، وكذلك مع الزمن فقد يتحقق التشاكهة بصورة تامة أو جزئية ، وبهذا يكون للتشاكهة مفهومين أما التشاكهة الفضائي أو التشاكهة الزمني ، وهذان المفهومان غير متلازمين فقد يكون لمصدر ضوئي تشاكهة فضائي تام وتشاكهة زمني لدرجة ما أو العكس.

يمكن تعريف التشاكهة الفضائي على أنه حالة الموجة الكهرومغنطيسية التي يبقى فيها فرق الطور بين أي نقطتين في الفضاء ثابتاً مع الزمن ، فإذا بقي فرق الطور بينهما يساوي صفر بعد أية فترة ، يقال أن هناك تشاكهافضائياً تاماً بين النقطين وأن الليزر يملك هذه الصفة بصورة تامة.

أما التشاكهة الزمني فهي صفة تتعلق بنطاق تردد الخط الطيفي الذي يعطي الاتساع فزمن التشاكهة لموجة أحادية اللون ، أي أن اتساع الخط الطيفي لها يساوي صفر يكون لا نهائي ، وبهذا يكون التشاكهة الزمني تاماً ، ومن هنا يتضح أن مصادر الضوء التقليدية مصادر غير متشاكهة زمنياً نظراً لاتساع خطوطها الطيفية .الترابط بين موجات الحزمة الواحدة مكانياً وزمنياً يساعد الموجات الضوئية أو الفوتونات في تقوية بعضها البعض لتعطي طاقة وقدرة عالية للحزمة الواحدة.[3]

3.4.2 الشدة:

شدة الشعاع عالية ومركزة في حزمة ذات قطر ضيق لا يتجاوز 1mm ، وعند إستخدام البصريات الملائمة يمكن تعريفها وفق الحاجة ، بالإضافة إلى أننا نستطيع تركيزها في بقعة صغيرة تملك قدرة كثافية هائلة، إن القدرة التي تحملها النبضة تكون أعلى بكثير من القدرة الخارجة لليزر يعمل بموجة مستمرة. [3]

4.4.2 السطوع:

قد تبدو بعض الغرابة أو الشك عند النظر إلى أشعة الليزر ومشاهدة الشدة العالية ، ثم مقارنة قدرة هذا المصدر الضوئي بمصادر الضوء التقليدية ، وبناءً على كون أن انبعاث أشعة الليزر يقع ضمن حزمة ضيقة ذات انفرج بسيط في الفضاء، مقارنةً بمصادر الضوء التقليدية والتي تنتشر منها الطاقة إلى جميع الاتجاهات ، لذا بدلاً من التعامل مع شدة الموجة المنبعثة التعامل مع كمية تعبر عن شدة الموجة المنبعثة ، ضمن وحدة الزاوية المجسمة ، حيث يطلق على هذه الكمية بالسطوع على هذا الأساس يعرف سطوع مصدر ضوئي ، على أنه مقدار الطاقة المنبعثة في وحدة الزمن ولوحدة المساحة من السطح ولوحدة زاوية مجسمة.[3]

فالمسؤول عن هذه المميزات هو الانبعاث المستحث بينما في الضوء العادي يكون الانبعاث التلقائي حيث يخرج كل فوتون بصورة عشوائية لا علاقة له بالفوتون الاخر.[8]

5.2 أنواع الليزرات:

تصنف الليزرات حسب نمط الخرج الليزري الى المستمر أو النبضي ، وحسب المنطقة من الطيف الكهرومغنطيسي وحسب القدرة الخارجة منخفضة أو عالية وحسب الخطورة وحسب المادة الفعالة.[8]

أما تصنيف الليزرات حسب المادة الفعالة المستخدمة تنقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسية:

1.5.2 ليزر الحالة الصلبة:

هو الليزر الذي ينتج بواسطة مادة او خليط من مواد صلبة مثل الياقوت او خليط من الالمنيوم واليتريوم والنيوديميم neodymium:yttrium-aluminum ويسمى بليزر الTAG اختصارا ويكون طوله الموجي في منطقة الاشعة تحت الحمراء.[8]

2.5.2 ليزرات الحالة الغازية:

وهي تعتمد على مادة غازية مثل الهيليوم والنيون وغاز ثاني اوكسيد الكربون وتكون اطوالها الموجية في مدى الاشعة تحت الحمراء وتستخدم في قطع المواد الصلبة لطاقتها العالية .[8]

تكون كثافة الوسط الفعال للغازات قليلة ومن هنا يكون التوزيع المعكوس صغير عند مقارنته مع ليزرات الحالة الصلبة وتعد هذه إحدى أسباب كبر حجم منظومات الليزر الغازية مقارنة بحجم ليزرات الحالة الصلبة للقدرة ذاتها. إن ضيق خطوط امتصاص ذرات الغازات يجعل الضخ الضوئي ليس عملياً ، لذلك يتم القيام بالضخ بوساطة التفريغ الكهربائي. يوضع الغاز في أنبوبة زجاجية مفرغة تحت ضغط منخفض وتوجد عند نهايتي الأنبوبة أقطاب التفريغ الكهربائي الكاثود Cathode والأنود Anode, تتسارع الإليكترونات التي تنتج من خلال التفريغ الكهربائي باتجاه الأنود وبسبب الاصطدمات تكتسب الذرات المتعادلة أو الأيونات طاقة إضافية تتهيج بواسطتها إلى مستويات طاقة أعلى . يؤدي اكتساب الطاقة هذا إلى حصول التوزيع المعكوس الذي يكون الشرط اللازم لفعل الليزر . من الملائم تقسيم الليزرات الغازية إلى ليزرات غازية ذرية وليزرات أيونية وليزرات جزيئية بسبب الاختلاف بين الاسس النظرية والعملية التي تعتمد عليها. [7]

- **ليزرات الغازات الذرية:**
  - **ليزر هليوم – نيون:**

من ناحية التصميم يتكون ليزر الهليوم – نيون التقليدي من أنبوبة زجاجية تحتوي على غازات وعلى وسائل القيام بالتفريغ الكهربائي ومرايا عند نهايات الأنبوبة لتكون حجرة المرنان . تكون المرايا خارج أنبوب البلازما بحيث يتم إخراج الضوء خارج الأنبوبة بأقل انعكاس ويتم ذلك بواسطة استعمال نافذة بريستر Brewster Widows التي هي عبارة عن صفائح زجاج بصرية مسطحة تتجه عند زاوية بريستر Brewster angle ويكون عند هذه الزاوية الانعكاس الداخلي ضمن الأنبوبة صفراً لضوء ذي استقطاب معين.

الوسط الفعال لهذا النوع من الليزرات الغازية هو خليط من غازي الهليوم والنيون . تتم عملية الضخ من خلال تسليط فرق جهد كافي لإحداث التفريغ الكهربائي . بواسطة جهاز قدرة يتم تزويد المنظومة بالفولتية والتيار اللازمين . تتم الانتقالات الليزرية بين مستويات الطاقة الخاصة بغاز النيون إذ أن هناك العديد من الانتقالات تبدأ من المستويين (2s,3s) ولعدم وجود انتقالات إلكترونية من المستوى الأرضي إلى هذه المستويات خلال عملية الضخ يتم إضافة غاز الهليوم الذي يمتلك مستويات طاقة متهيجة تتطابق مع المستويين (2s , 3s) لغاز النيون . يمكن تصنيف ليزر الهليوم- نيون ضمن نظام المستويات الأربعة، يبعث ليزر الهليوم– نيون أطوال موجية هي 543nm و594nm و612nm و633nm وهو من الأنواع الشائعة الاستعمال في المعامل بسبب كلفته المنخفضة . تكون هذه الليزرات ذات كفاءة قليلة (0.01% to 0.1%) وقدرة قليلة (max 10mV) يستعمل ليزر الهليوم – نيون في الأبحاث الكيميائية والتحليل الطيفي والصور المجسمة (الهولوغرافي) والاتصالات.[7]

- **ليزر بخار النحاس:**

جهاز ليزر بخار النحاس Cooper Vapor Laser (CVL) يشابه ليزر بخار الذهب . اخترع عام 1966م وأول جهاز على المستوى التجاري صدر للأسواق كان عام 1980م . ويتميز هذا الجهاز بكفاءته العالية نسبياً في مجال الطيف المرئي وهو من أنواع الليزرات النبضية.

من ناحية التصميم يتكون من أنبوبة مصنوعة من الألومنيا Alumina أو الزركونيا Zirkonia مع نوافذ ومرايا عند نهايات الأنبوبة . انعكاسية واحدة من المرايا تكون 100% بينما تكون الأخرى مرآة شفافة حيث تعكس فقط 10%. يتم ملأ الأنبوبة بغاز خامل وكمية قليلة من نحاس نقي. يتم ملأ الأنبوبة في العادة بغاز النيون . يكون قطر الأنبوبة بحدود 10-80mm . يمكن لهذا الليزر العمل بدون حجرة بصرية لأن هذه الليزرات تمتلك وسط فعال كبير.

يمثل بخار النحاس الوسط الفعال لهذا النوع من الليزرات ولأن بخار النحاس يتطلب حرارة عالية فهذا يتطلب أن تبقى أنبوبة التفريغ الكهربائي عند درجة حرارة عالية. إن ليزر بخار النحاس هو ليزر المستويات الثلاثة وهو كذلك ليزر نبضي بسبب ازدياد مستويات الطاقة بسرعة كبيرة لا يكون بعدها التوزيع العكسي كافياً للمحافظة على الانبعاث. ان المستويات الثلاثة في ليزر بخار النحاس تؤدي إلى انبعاث طولين موجيين منفصلين أحدهما عند 0.578µm منتجاً ضوءاً اصفراً والآخر عند 0.578µm منتجاً ضوءاً أخضراً .

لليزر بخار النحاس إستخدامات في العلاج الضوئي الحركي photo-dynamic Therapy لمرضى السرطان وتصوير الانطلاق السريع للحصول على صور واضحة عند السرع العالية وكمصدر ضخ لليزرات الصبغة Dye lasers ويستعمل في تحليل طبعات الأصابع.[7]

- **ليزرات الغازات الأيونية:**

من بين نماذج هذا النوع مايلى :

- **ليزر أيون الاركون:**

تنتقل الاليكترونات في هذا النوع من الليزرات بين مستويات الطاقة للأيون بعد ضخها في انبوبة التفريغ الكهربائي إذ تبدا العملية بتأين ذرات الأركون (طاقة تأينها بحدود 15.75eV) ثم يتم تزويدها بطاقة إضافية لتحفيزها إلى مستويات طاقة أعلى من المستوى الأرضي (بحدود 19.68eV). إن كفاءة هذا النوع من الليزرات صغيرة بسبب ما تتطلبه من طاقة ضخ كبيرة ويمكن زيادة الكفاءة في حالة تسليط مجال مغناطيسي يتجه باتجاه محور انبوبة التفريغ الكهربائي . يبعث هذا الليزر أطوال موجية هي 458nm و 488nm و 514.5nm.[7]

- **ليزر الهليوم – كادميوم:**

يعد ليزر الهليوم – كادميوم أفضل الليزرات المعروفة من عائلة الليزرات التي تبعث بخطوط أبخرة المعادن المتأينة وفي الحقيقة أنه أول ليزرات بخار المعدن المكتشف ويمكنه إنتاج قدرات مستمرة إلى حدود تصل إلى 100mW عند الطول الموجي 442nm في الطيف الأزرق وإلى حدود 20mW عند الطول الموجي 325nm في الإشعاع فوق البنفسجي.

يتم في هذه الليزرات تسخين الكادميوم في انبوبة تفريغ كهربائية تحتوي على غاز الهليوم وعند تسخين معدن الكادميوم يتحول جزء من الكادميوم إلى بخار ثم يتأين وتصبح ذراته في حالة استثارة ومن خلال تبادل الطاقة مع ذرات الهليوم المستثارة يتحرر الكترون من خلال عملية تبادل الطاقة هذا مكتسباً فرق الطاقة بين ذرة الهليوم وأيون الكادميوم المستثارين.[7]

- **ليزر الهليوم – فضة:**

يولد أطوال موجية فوق بنفسجية بطول موجي 224nm.[7]

- **ليزر النيتروجين N2:**

اخترع ليزر النيتروجين عام 1963م وهو ليزر غازي ويبعث نبضات قصيرة بمعدل إعادة عالي في مدى الإشعاع فوق البنفسجي عند الطول الموجي 337.1nm. وفترة النبضة الناتجة تكون في حدود 10ns أو أقل وتردد النبضة في حدود 1-200 Hz.[7]

من ناحية التصميم يختلف ليزر النيتروجين عن ليزر ثاني أوكسيد الكربون باختفاء مرآة الخرج . وفضلاً عن ذلك تتعرض كل جزئيات النتروجين المتهيجة اضمحلالاً إشعاعياً عبر فترة زمنية قصيرة عاملة على تفريغ الحجرة من طاقتها بفعالية وبذلك يتم إنتاج نبضة ذات شدة عالية دون الحاجة للتمرير المتكرر للضوء إلى الأمام والخلف بين المرايا . وفي الواقع يمكن لليزر النتروجين العمل بنجاح دون اي مرايا عند النهايات وأن الحاجة لمرآة توضع عند إحدى نهايات الحجرة هو فقط لغرض توجيه الخرج.

يعمل ليزر النتروجين عبر الانتقالات الإلكترونية فيتم تهيج الغاز بواسطة تفريغ كهربائي بفولتية عالية والذي يجعل المستوى الإلكتروني الثالث مشغولاً ويمتلك مستوى الليزر الأعلى عمر حياة قصيرة جداً 40ns ونتيجة لذلك لا يمكن المحافظة على التوزيع المعكوس ويمتلك مستوى الطاقة الاقل لانتقال الليزر عمر حياة طويل يجعله يمتلأ بالجزيئات والذي سيحدد معدل إعادة النبضات.

يمكن لهذا الليزر إنتاج ذروة شدة في مدى 1010W/m2 وبذلك يكون أحد المصادر التجارية ذات القدرة الأكبر نوعاً ما بالنسبة للإشعاع فوق البنفسجي . نتيجة لذلك غالباً ما يستعمل في الدراسات الكيميائية الضوئية كما يستعمل في تحليل الأطياف وفي عمل الضخ لليزر الصبغة وفي التحكم بالتلوث (التحسس عن بعد) ويستعمل في قياسات عمر الحياة الذرية والجزيئية وكذلك في الأبحاث الطبية والإحيائية[7] .

- **ليزرات الغازات الجزيئية:**

- **ليزر ثاني اوكسيد الكربون:**

يعتبر من أنواع ليزر الغاز الجزيئي ، ويعد ليزر ثاني أكسيد الكربون co_2 من أهم الأنواع لكفاءته العالية التي تبلغ حوالي 30% ، وكبر حجم القدرة الخارجية التي قد تصل إلى عشرات الكيلوواط والتي تكون في بعض الأنواع تعمل بنمط التشغيل المستمر ، وهذه القدرة الكبيرة هي ما أوحت للصحافة الشعبية بتسمية الليزر (بأشعة الموت) ، وهي التي جعلت هذا النوع يستخدم في كثير من التطبيقات الصناعية والعسكرية.[7]

وينتج هذا الجهاز البصري حزمة ليزر مستمرة بقدرة خارجة تصل إلى 100kW وبأطوال موجية هي 9.6µm و10.6µmويستمر محافظاً على درجة عالية نسبياً من النقاوة والترابط وتكمن أهمية ليزر كهذا من خلال قدرته على قطع الماس وألواح سميكة من الفولاذ في غضون ثوان. اضافة إلى ذلك يولد ليزر كهذا مدى واسع من ترددات الأشعة تحت الحمراء ويمكن تضمينها لمدى من الأطوال الموجية ولأشعتها تطبيقات في أنظمة الاتصالات البصرية كالرادارات البصرية وتكون مناسبة للأنظمة الأرضية والفضائية لأن الأشعة تحت الحمراء تتشتت أو تمتص بشكل طفيف بوساطة الغلاف الجوي فقط.[7]

يعد طيف الغازات الجزيئية أكثر تعقيداً ً من تلك التي لعدد من الغازات الذرية فبالإضافة لمستويات الطاقة الإلكترونية للذرات الحرة هنالك جزيئيات تمتلك مستويات تظهر من اهتزازات ودوران كمي

للذرات نفسها. وبذلك يكون هنالك لهيئة إلكترونية في جزيئة معطاة عدد من مستويات اهتزاز متباعدة بالتساوي تقريباً وهنالك لكل مستوى اهتزاز عدد من مستويات دورانية.

يؤدي إضافة غاز النتروجين N_2 لحجرة الليزر إلى ارتفاع انتقائي لجزيئات CO_2 إلى مستويات ليزر مطلوبة وهذه مشابهة للانتقال الانتقائي لطاقة التهيج من ذرات الهليوم إلى ذرات النيون في ليزر الهليوم- نيون.]

ترجع الكفاءة العالية لليزر CO_2 إلى مساهمة حقيقية لحاجة المستويات الاهتزازية والدورانية لطاقة أقل للتهيج وأن جزءاً كبيراً من هذه الطاقة يتحول إلى حزمة الليزر بينما لغرض تهيج ذرة هليوم إلى أول مستوى غير مستقر metastable تحتاج إلى ما يصل إلى 20V وأن ثلثا منها فقط مطلوب لاستثارة جزئية CO_2 إلى مستوياته الاهتزازية والدورانية الأولى المنخفضة.[7]

3.5.2 ليزر الحالة السائلة:-

ويتميز بسهولة تحضيره في المختبرات، كما أن المواد المستخدمة فيه اقتصادية إلى درجة كبيرة، بالمقارنة بأجهزة الليزر الأخرى، بالإضافة إلى إمكانية تغيير السائل المستخدم بسهولة للحصول على أشعة ليزر ذات مواصفات جديدة، دون تغيير جهاز الليزر. ويمكن لجهاز ليزر السوائل أن ينتج أشعة ليزر بألوان مختلفة، وبموجات ضوئية ذات أطوال متباينة. والسوائل المستخدمة هنا تعتمد في تركيبها على مادة الصبغة العضوية الكيماوية التي توجد في الطبيعة على هيئة أجسام صلبة تختلف في التركيب الكيماوي . [8]

4.5.2 ليزر الاصباغ Dye Laser:

وهو عبارة عن مواد عضوية معقدة مثل الرودامين مذابة في محلول كحولي وتنتج ليزر يمكن التحكم في الطول الموجي الصادر عنه.[8]

وإضافة إلى هذه الأنواع الثلاثة هنالك نوع رابع هو ليزر أشباه الموصلات. فعلى الرغم من كون الوسط الفعال في هذا النوع مادة صلبة ، إلا أن جوهر العمل لهذا النوع يختلف تماماً عن ليزرات الحالة الصلبة ويطلق عليه احيانا ليزر الدايود ويعتمد على المواد شبه الموصلة ويمتاز بحجم صغير ويستهلك طاقة قليلة ولذلك يستخدم في الاجهزة الدقيقة مثل اجهزة السي وطابعات الليزر. ولكن اكثر انواع الليزرات المستخدمة في التطبيقات الصناعية هي:

1. ليزر ثنائي اوكسيد الكربون المستمر.
2. ليزر ثنائي اوكسيد الكربون النبضي
3. ليزر النيديميوم – ياك المستمر.
4. ليزر النيديميوم – ياك النبضي.
5. ليزر النيديميوم – زجاج المستمر.
6. ليزر الياقوت النبضي.
7. ليزر التيتانيوم – زفير.
8. ليزر فلوريد الكربتون.[8]

جدول رقم(1) يوضح بعض المعلومات حول عمل أنواع الليزرات [3]

نوع الليزر	نمط الاشتغال	طول الموجة (نانومتر)	منطقة الطيف	القدرة (واط)
ليزر غاز الهليوم نيون	المستمر	632.8	المرئية	تصل الى 20 ملي
ليزر غاز الارجون	المستمر	514.5	المرئية	تصلى الى 20
ليزر ثانى اوكسيد الكربون	المستمر	10600	تحت الحمراء	تصل الى الاف
ليزر ثانى اكسيد الكربون	النبضى	10600	تحت الحمراء	تصل الى ملايين
ليزر الياقوت	النبضى	694.3	المرئية	اكثر من 100 الف
ليزر الياج	النبضـــى أو المستمر	1064	تحت الحمراء	اكثر من الاف
الليزر الصبغي	المستمر	900-360	فوق البنفسجية	تصل الى عشرات

ليزر انصاف الموصلات	المستمر	900	تحت الحمراء	تصل الى اجزاء
ليزر الهليوم كادميوم	المستمر	-325 441.6	فوق البنفسجية	تصل الى اجزاء
ليزر النتروجين	المستمر	337	فوق البنفسجية	تصل الى اجزاء
ليزر الكربتون	المستمر	647-476	فى المرئية وفوق البنفسجية	تصل الى بضع

6.2 تطبيقات الليزرات:

هنالك عدد من تطبيقات الليزر أهمها :

- التطبيقات الصناعية (القطع والتثقيب واللحام والتصليد)
- القياسات والفحص (قياس المسافات والترصيف البصري وكشف العيوب)
- التطبيقات الطبية والإحيائية (امراض العين والجراحة والتجميل والاستئصال والتصوير الاحيائي) .
- التطبيقات العسكرية (التوجيه والتتبع وتقدير المدى)
- التطبيقات التجارية (الاقلام الضوئية والطابعات الليزرية والاقراص المدمجة) [8].

لقد استخدم شعاع الليزر في الكثير من المجالات ، وذلك نسبةً لمميزات هذه المنظومة ، مما جعلها ملائمة للإستخدام في بعض التطبيقات ، ومن هذه المميزات الآتي:

- عدم وجود تماس مباشر بين العينة ومنظومة أشعة الليزر ، وبالتالي استبعاد أي تلوث او جهد ميكانيكي عند إستخدام المساكات الميكانيكية التقليدية.
- إن الطاقة الحرارية لأشعة الليزر تنفذ إلى العمق المطلوب بإنتشار عرضي صغير جداً ، وبذلك تحافظ على شكل المادة وليس لها تأثير كثير على خواصها الفيزيائية ، مقارنة مع الطرق الميكانيكية.
- إمكانية إستخدام الليزر في تصنيع المواد المختلفة سواء كانت من معادن فلزية قابلة للي او خزفية صلدة قابلة للكسر مثل الزجاج والسيراميك دون أن تحدث أي تلف.
- إمكانية الحصول على لحام نقطي أو ثقوب متناهية في الصغر بسبب القدرة الكبيرة على تركيز الشعاع على بقعة صغيرة.
- سرعة انجاز العمليات الصناعية بإستخدام الليزر خصوصاً الدقيقة منهامقارنةً بالطرق التقليدية.

إن هذه المميزات التي ذكرت تعتبر مساوي عند إستخدام منظومة الليزر في بعض التطبيقات ، حيث نجد أن بعض التطبيقات مثلاً تحتاج إلى وجود تماس مباشر بين العينة ومنظومة الليزر. إلاّ أن هذه المساوئ لا تعتبر عائقاً من إستخدام منظومة الليزر ، وذلك نسبةً لتميزها بخواص أخرى تساعد على إجراء التطبيق المطلوب ، فعلى سبيل المثال تعتبر الليزرات الثنائية صالحة للاستعمال في الطابعات الليزرية ، وفي المعامل البحثية والتعليمية ، وذلك لتميزها بالخواص الآتية:

- صغر حجمها.
- سهولة تشغيلها.
- قلة كلفتها.

بالإضافة إلى الخصائص العامة فإن ليزر الثنائيات ذات الطول الأحادي والذي يعني أن شعاع الليزر الذي يتذبذب بشكل طولي وأساسي مفرد ذات فائدة كبيرة في الفيزياء الذرية ، بالرغم من صغر حجمها فإنها تعطي قدرة معقولة من الموجات المستمرة مع كفاءة كهربية وبصرية. أما ليزر أشباه الموصلات يمتاز بصغر حجمه وطوله المحدود وبسهولة التضمين عند الترددات العالية لذلك نجد ان له تطبيقات مهمة في كثير من مجالات البحوث الأساسية والتكنولوجيا ، كالتمثيل الطيفي للغازات الدقيقة وفي مراقبة تلوث الجو وفي المجال الطبي.[9]

ولقد استخدم الليزر في تقدير وتعيين بعد القمر ، كما استخدم تضاؤل حزم الليزر واستطارتها في دراسة الغلاف الجوي ، وثمة تغيير من تجربة ميكلسون مورلي تم إجراءه باختيار حساس لإنزياح الأثير أن تتحد حزمتين من ليزر الأشعة تحت الحمراء ، تختلفان في ترددهما اختلافاً طفيفاً بواسطة مجزئ الحزمة ، ويمكن كشف الضربات الناتجة في التردد بواسطة مضخم الشدة الضوئية ودوائر

التسجيل الإلكترونية ، تكون الضربات الناتجة في التردد كما في أمواج الصوت مساوية للفرق بين ترددي حزمتي الليزر ، ويحكم التردد المضبوط الذي يعمل به الليزر بواسطة طول كل تجويف رنين وسرعة الضوء داخله [10].

7.2 السلامة والأمان في مختبرات الليزر:

يتعلق هذا البند بموضوع مخاطر إستخدام أشعة الليزر وكيفية أخذ الحذر والحيطة للوقاية منها عند التعرض لها أو التعامل معها.إن هذه المخاطر تقع في أربعة أبواب وهي:

أ. مخاطر ألاشعاع
ب. مخاطر القدرة الكهربائية
ج. مخاطر الإنفجار
د. مخاطر التسمم

لقد درست هذه المخاطر بشكل وافي حتى ذهبت بعض الدول إلى وضع تعليمات رسمية تطبق على المنتج والمستهلك غرضها من ذلك السلامة والأمان لجميع العاملين في مختبرات أجهزة الليزر. إن مخاطر الإشعاع يقع تأثيرها وبصورة رئيسة على عين وجلد الإنسان. أما الخطر الكهربائي فيكمن في مصادر توليد القدرة الكهربائية اللازمة لعمل الليزر وتأثير الصعقة الكهربائية أما مخاطر الإنفجار فتكمن في فشل عمل بعض أنواع الليزر كفشل عمل المصابيح الوميضية أو إنفجار في المحاليل الكيميائية. أما مخاطر التسمم فتنتج معظمها عن تعامل أشعة الليزر الموجهة ذات القدرة العالية مع المواد المختلفة التي تقع في طريقها فتؤينها أو تحدث تغيراً في تركيبها تكون بعدها مصدراً للتسمم ، كذلك قد تستخدم بعض المواد الكيميائية كمواد مذيبة أو منشطة لفعالية الليزر وقد تكون ذات أبخرة مؤذية عند إستنشاقها.[3]

8.2 الطرق الصحيحة للسلامة:

- توضع علامات تحذير في الأماكن المعرضة لإشعاع الليزر،كذلك يثبت مصباح ضوء تحذيري عند مدخل المختبر ويضاء أوتوماتيكياً مع تشغيل جهاز الليزر بداخل المختبر ليمنع الدخول الفجائي إليه.
- يحدد الإتجاه الذي ينتقل فيه الليزرفي المختبر بحيث لا يتعارض مع الحركة بداخله كما يجب أن لا تكون حزمة الليزر على إرتفاع قريب من مستوى العين.
- لا توضع المأكولات أو قناني الشرب للمرطبات في طريق الأشعة فقد ينعكس عنها الليزر إلى العين كذلك قد تتفكك هذه المواد بسبب الإشعاع إلى مواد لا يصل تناولها ،كما لا يسمح بخزن الغذاء في مختبرات الليزر كذلك يجب أن تتوفر شروط التهوية المستمرة.
- يكون لمصادر القدرة الكهربائية العالية ،أرضي جيد قبل تشغيلها كذلك يتجنب من يشغل هذه الأجهزة أو يفحصها الوقوف على صفائح معدنية أو أرض رطبة أو اي مادة جيدة التوصيل بالأرض وينصح بلبس الأحذية المطاطية وأن لا يشتغل الفرد لوحده في المختبر.
- يجب لبس النظارات الخاصة بكل طول موجة لحماية العين.
- يقوم المشرف على المختبر بإعطاء طلابه جميع التعليمات والإرشادات ذات العلاقة بسلامته داخل المختبر وقبل أن يشغل أي جهاز لليزر.[3]

الفصل الثالث
تطبيقات الليزر في الصناعة

1.3 مقدمة:

منذ أن أكتشف ميمان الليزر عام 1960م تم التوجه لإستعمال الليزر في الصناعة ومع تطور أجهزة الليزر وتنوعها تم التركيز على منظومات ليزر ثاني أوكسيد الكربون والنيديميوم_ ياك. وبإستمرار الأبحاث تحسنت طاقة الليزر الخارجة ومواصفات الشعاع وهي أكثر ملائمة الآن للتطبيقات المختلفة.

وفي اغلب الاحوال يستعمل الليزر كطاقة حرارية حيث يتم تجميعها بواسطة عدسات خاصة على القطعة المراد مكننتها ،فترتفع درجة حرارة المنطقة في موقع بؤرة العدسة إلى درجات عالية تكفي لإحماء وصهر وتبخر أغلب المعادن صلابة.[6]

يعتمد إستخدام الليزر في التطبيقات الصناعية بمجموعة من الامور أهمها:

- الطول الموجي لشعاع الليزر.
- طاقة أو قدرة شعاع الليزر (الطاقة في حالة الليزر النبضي والقدرة في حالة الليزر المستمر).
- حجم شعاع الليزر.
- إنفراجية شعاع الليزر (يفضل أقل ما يمكن).
- نمط شعاع الليزر (يفضل النمط الاساسي).
- أبعاد منطقة المعالجة.
- إمتصاصية المادة لشعاع الليزر.
- إنعكاسية المادة لشعاع الليزر.
- التوصيلية الحرارية للمادة.
- الانتشارية الحرارية للمادة.
- سرعة حركة شعاع الليزر.
- الاجزاء البصرية المستخدمة.
- إستخدام الغازات المساعدة .[8]

حيث يكون لصفة القدرة العالية المتوافرة في حزمة ضيقة من أشعة الليزر أهمية في حقول تصنيع المعادن والتعامل معها ، فلقد استخدمت حزمة من ليزر الياقوت وبعد أشهر قليلة من اكتشافه في تثقيب أصلب المواد المعروفة وهو الماس ، وتستخدم اليوم على نطاق واسع لهذا الغرض كما تستخدم أشعة الليزر في الوقت الحاضر في معامل السيارات وتصنيع المعادن في الدول المتقدمة وبصورة أوتوماتيكية مبرمجة ، وتعتبر من التقنيات المتقدمة والمتطورة لما تسببه من سرعة في الإنتاج ودقة في العمل ، ويمكن إيجاز الفوائد الرئيسة لإستخدام أشعة الليزر في هذا الحقل كالتالي:

- إن تسخين المادة الناتجة عن إستخدام أشعة الليزر لإجراء عملية معينة تشمل جزءاً منها يكون عادةً أقل مما هو عليه بإستخدام الطرق التقليدية ، لذلك ينخفض التشوه الحاصل في المادة ككل نتيجة سخونتها ، وبالتالي يمكن إجراء العملية والسيطرة عليها ضمن ظروف أفضل.
- إمكانية الإشتغال في مواضع لا يمكن الوصول إليها وعلى العموم يمكن التعامل مع أي موضع بواسطة الليزر إذا تم رصده بواسطة جهاز بصري.

- السرعة العالية في التنفيذ لذا تكون نسبة الإنتاج عالية.
- سهولة جعل العملية تتم بصورة أوتوماتيكية مبرمجة فيمكن تنفيذ حزمة الليزر بتحريك الجهاز البصري ، ويمكن السيطرة على هذه الحركة بواسطة حاسب آلي ، وهذه الطريقة توفر مثلاً إمكانية القطع الدقيق للتصاميم ذات الأشكال المعقدة.
- إمكانية انجاز عمليات جديدة في علم المعادن لم تكن ممكنة سابقاً فمثلاً بسبب سرعة الإحماء والإنصهار العالية لأشعة الليزر ، يمكن معالجة سطوح المعادن والحصول على نوع جديد من سبائك السطوح ،مثلاً إمكانية بلورة سطح شبه موصل غير متبلور.
- لا تتلف آلة الليزر نتيجة إستخدامها لعملية ما كآلة القطع التقليدية.
- الاشتغال في ظروف تتسم بالهدوء بعيدة عن ضوضاء مكائن التصنيع التقليدية المناظرة.[3]

تستخدم أشعة الليزر اليوم في الصناعة وللأغراض التالية وهي اللحام والقطع والتثقيب ، وتتم هذه العمليات عن طريق امتصاص المادة لأشعة الليزر التي تتحول بدورها إلى حرارة في المادة نفسها ، فتعمل على انصهارها عند موضع سقوط الأشعة عليها ، فتتم العمليات السابقة وتشكل قابلية الإنعكاس لسطح المادة قيد التصنيع عاملاً مهماً في تحديد مقدار الطاقة الممتصة ، كما تختلف هذه الإنعكاسية بإختلاف الطول الموجي للضوء الساقط إن الصفة المشتركة للمعادن هي إزدياد الإنعكاسية بإزدياد الطول الموجي للضوء الساقط ، كما أن معظم المعادن تقل الإنعكاسية لها بإزدياد درجة الحرارة لسطح المعدن ، وبذلك تزداد قابلية الإمتصاص مع إزدياد درجة الحرارة دون طرف آخر وتمثل خشونة السطوح عاملاً آخر يؤثر على كمية الطاقة الممتصة من قبله ، ومن المعروف أن السطح الخشن يمتص الطاقة أكثر من السطح الأملس الناعم ، ويمكن التغلب على مشكلة الإنعكاسية العالية للسطح وكذلك نعومته بطلي سطح المعدن بمادة داكنة ، وكذلك تمثل سرعة إنتشار الحرارة داخل المادة عاملاً آخر يجب أخذه بعين الإعتبار ، فمعامل التوصيل الحراري وكذلك الحرارة النوعية وكثافة المادة تحدد المعامل الجديد الذي يطلق عليه معامل الإنتشار الحراري ، ومقدار هذه الكمية مهم في تحديد نجاح عملية اللحام ،مثلاً على العموم تتطلب صناعة المعادن إستخدام ليزر ذي قدرة عالية كليزر ثاني أكسيد الكربون Co_2laser.

إن إستخدام الليزر يعتمد على المادة المطلوب تصنيعها وقابلية إمتصاصها لطول الموجة المناظرة كذلك على القدرة اللازمة.

تستخدم أشعة الليزر اليوم في الصناعة وللأغراض التالية وهي اللحام والقطع ، التثقيب ، معاملة السطوح ، التسبيك .[3]

2.3 أهمية الليزر في الصناعة:

إن أهمية الليزر في الصناعة تكمن في أربعة من خواصه ، كانت تعتبر يوماً من خيالات العلم للحصول عليها في مصدر ضوئي ، هذه الخواص هي:

1.الطاقة الفائقة .

إن قدرة شعاع الليزر قد تصل إلى 3×10^9 واط من الدقائق الضوئية ،وفي نفس الوقت من الممكن الحصول على قدرة تقترب من واحد بالمليون من الواط.هذا المدى الواسع من الإختيار والسيطرة على شدة الإشعاع تعطي بلا شك مجالات رائدة في التطبيقات الصناعية.[6]

2.الاتجاهية الحادة الدقة.

حيث أن مساحة مقطع حزمة الشعاع أقل من واحد سنتيمتر مربع وأطراف الشعاع في الحزمة متوازية إلى أقل من نصف الدرجة بالنسبة إلى القدرة العالية ، أما بالنسبة للقدرة المنخفضة فإن تشتت أو تفريغ الشعاع يقل إلى حوالي 0.05 من الدرجة.[6]

3. النقاوة الموجية العالية (أو احادية طول الموجة).

إن شعاع الليزر يمتلك هذه الخاصية ويمكننا من الحصول على طول موجي مفرد في أية منطقة من مناطق الطيف الكهرومغناطيسي وهذه إحدى أكثر التطبيقات إثارة للعلماء والباحثين وهي مجربة اليوم في تجارب فصل النظائر المشعة والاندماج النووي الذري.[6]

4. الترابط الموجي.

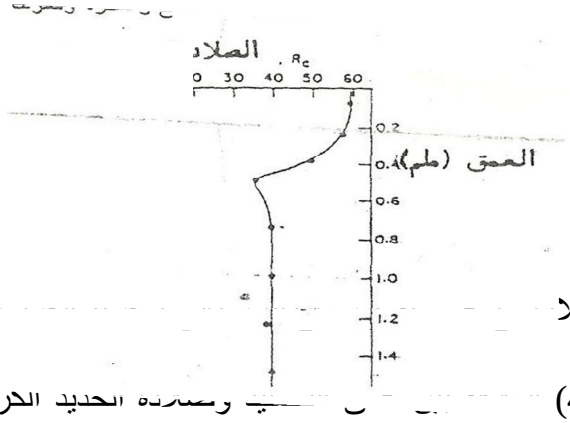
لقد فتح مجالاً جديداً في التصوير الفوتوغرافي وهو التصوير بأشعة الليزر هلوكراف ، الصور الشبحية المتكاملة التي لا حاجة فيها لعدسات أو كاميرات لاقطة ويعطي صوراً مجسمة للأشياء التي لا ترى العين مثيلاً لها وتكاد ان لا تميز عن الحقيقة.

في هذا المجال تطبيقات رائعة تكاد أن تكون أقرب إلى الخيال.وبالإضافة إلى أن القدرة العالية في الليزر تمكن تركيز شعاعه للحصول على قدرات أعلى لتعطي حرارة شديدة.[6].

3.3 العمليات الصناعية بإستخدام أشعة الليزر:

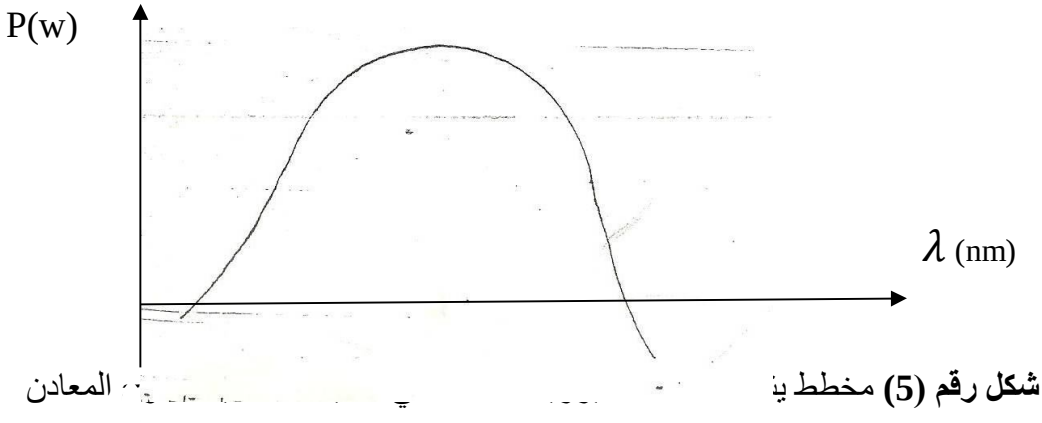
1.3.3 تصليد السطوح المعدنية :

يستخدم ليزر القدرة العالية لتسخين سطح المعدن الى درجة حرجة يليها مباشرة عملية تبريد سريع ، فعند تحريك شعاع الليزر على مناطق مختلفة من السطح تنتقل الحرارة من منطقة معينة على السطح إلى بقية أجزاء القطعة ،فتسبب تبريداً سريعاً يمكن أن يعقبه تسخين سريع ، وهكذا تتم المعالجة وفق أسلوب معين وفي هذا الخصوص لابد من الإشارة إلى أن منظومات الليزر لا تعتبر منظومات كفوءة في تسخين حجم كبير من المادة ، ولكنها تتميز بقدرتها على تسخين السطح بسرعة كبيرة وزيادة صلادته. يتحدد عمق الطبقة الصلدة المتولدة بقيمة التوصيلة الحرارية للمادة ، وبالإمكان تغيير العمق ودرجة حرارة السطح بواسطة تغيير قدرة الشعاع وقطره وسرعة التشعيع.[9]



شكل رقم (4) علاقة الصلا ن ذي القدرة العالية للحديد الكربوني.

يوضح الشكل (4) [illegible] وصلادته الحديد الكربوني بإستخدام ليزر ثاني أكسيد الكربون (co_2) قدرته 3 كيلو واط (3KW) بسرعة تشعيع 0.05 م/ثانية (0.05 m/s) . يراعى في هذه العملية شكل نبضة الليزر التي يفضل أن تكون مشابهة لشكل الناقوس تنخفض قدرتها لخفاضاً شديداً عند النهايات ، وتستطيع أن تغطي مساحة كبيرة بتوزيع يكون متجانساً ،كما في شكل (5) ، ومن غير المستحب إستخدام الأطوال الموجية التي تقع في المنطقة تحت الحمراء القريبة لزيادة الصلادة ، لأن أغلب المعادن تكون ذات إنعكاسية عالية عند هذه الأطوال.



شكل رقم (5) مخطط يـ [illegible] المعادن

يمكن زيادة امتصاص المعدن لهذه الأطوال الموجية عندما يطلى بمادة رقيقة من مادة أخرى شديدة الإمتصاص ، مثل التنكستن متعدد البلورة وأوكسيد النحاس والكرافيت ، ولابد من الإشارة إلى أن عملية الطلاء تصاحبها في الوقت نفسه بعض المشاكل ، منها منع الملامسة المباشرة بين الشعاع والمادة واحتراق الطلاء بعد فترة قصيرة في التشعيع ، لذلك تستخدم عملية تصليد المعادن بالليزر

للقطع المعدنية ذات الأشكال غير المنتظمة التي يصعب التعامل معها بالطرق الأخرى ، كالزوايا والشقوق والمقاطع المسننة ولعل أهم طرق زيادة الصلادة هي:

1. التصليد بالموجة الصدامية:

يشعع سطح المادة بنبضة ليزر ذات كثافة قدرة عالية جداً تبلغ (10^9 W/cm^2) ، حيث يقوم التبخر السريع لمادة السطح في المعدن وموجة الإمتصاص المصاحبة بتوليد موجة صدامية ضاغطة ، يكون لها رد فعل بإتجاه المادة يعمل على رص الجزيئات على السطح وزيادة صلادة المادة.[9]

2. التسبيك السطحي:

ينشر مسحوق من معادن معينة على السطح المراد زيادة صلادته ، ومن ثم يشعع السطح بليزر ثاني أوكسيد الكربون (CO_2) قدرته 2-5 كيلو واط (2-5KW) ، فينصهر السطح ويختلط معه المسحوق المعدني منتجاً مادة من سبيكة صلدة على السطح عند التبريد.[9]

2.3.3 تصنيع المواد شبه الموصلة:

يتم في هذا المجال تطعيم المواد شبه الموصلة بأيونات من مادة أخرى وفق نسب معينة تؤثر في الخواص الكهربائية للمادة شبه الموصلة ، تتلخص الطريقة التقليدية بتعريض سطح المادة شبه الموصلة إلى غاز يحوي المادة الشائبة المطلوب إدخالها الى التركيب البلوري في عملية إنتشار عن طريق التسخين في حيز مسيطر عليه ، ويمكن كذلك التطعيم بطريقة الزرع الأيوني (Ion Im-plantation) ، حيث يقصف سطح المادة شبه الموصلة بأيونات المادة الشائبة بعد تسريعها في مجال كهربائي لتصل إلى العمق المطلوب تحت السطح يتناسب مع الطاقة الحركية للأيونات ، لكن المشكلة في هذه الطريقة هي تشوه التركيب البلوري بسبب التصادم الذي يخلف طبقة لا بلورية (Amorphous) ذات سمك قد يصل إلى عدة نانومترات (nm) لما كان تأثير الأيونات الداخلة لا يظهر إلا ضمن وسط بلوري ، لذلك تعاد بلورة السطح بتسخينه لفترة طويلة قد تتجاوز النصف ساعة عند درجة حرارة (1000^{o}C) ، وقد يستعان بشعاع الليزر في تسخين السطح ليساعد في إعادة التبلور بسرعة كبيرة، ويوظف للغرض هذا الليزر النبضي أو المستمر إذ يصهر الأول سطح المعدن ليعيد تبلوره من جديد ، والطبقة المنصهرة عند السطح تأخذ التركيب البلوري نفسه للمادة التي تحتها عندما تتصلب، تقدر قيمة الزمن اللازم لإتمام عملية الانصهار بـ 10^{-6} ثانية (10^{-6}S) تنتشر خلالها الأيونات الشائبة مسافة تبلغ 10^{-7} م (10^{-7} m). أما عند إستخدام الشعاع المستمر فلا توجد هناك حاجة لصهر المعدن ، لأن سطح المعدن يحافظ على تركيبه ويمكن أن يستخدم في تصنيع بعض دوائر الأغشية الرقيقة والسميكة ليزر النيديميوم بمعدل تشغيل عالٍ لتبخير بعض المواد وترسيبها على مواد شفافة ، مكونة بذلك مقاومات ومتسعات وثنائيات وغيرها، حيث أن لمثل هذا الليزر قدرات يبلغ كل منها حوالي 1000 واط، وأمد زمني مقداره 200 نانو ثانية بمعدل تشغيل يصل 400 هرتز.

ومن التطبيقات الأخرى في هذا المجال إستخدام الليزر في تصحيح قيم المكونات الإلكترونية المصنعة بإزالة بعض أجزاء المادة أو تغيير أبعادها بالتبخر ، فتصبح قيمة مقاومة ما صحيحة على سبيل المثال بتعديل تأثير الطبقة المعدنية الرقيقة عن طريق إحداث شقوق جزئية فيها إذ تصنع المقاومة أولاً بقيمة منخفضة وبعدها تصحح بواسطة الشقوق إلى أن تصل إلى القيمة المطلوبة.[9]

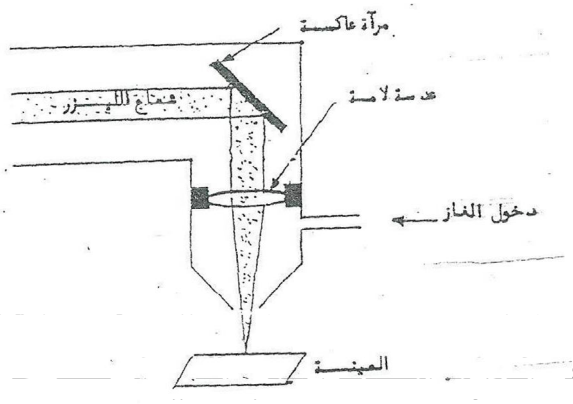
3.3.3 اللحام بإستخدام الليزر:

تتم عملية اللحام في أبسط صورها بين قطعتين معدنيتين في حالة تلامس عند تسليط شعاع ليزر على الخط الفاصل بينهما ، فتنصهر مناطق التلامس للقطعتين وتندمجان سوية. يتطلب عند اللحام تزويد الحرارة بالمقدار اللازم فتكون كافية لصهر كمية مناسبة من المادة ، وتحقيق لحام جيد ولا يجوز تجاوزها لتلافي تبخر المعدن الذي يؤدي عادة إلى لحام ردئ. بما أن انعكاسية المعادن تتناقص عند درجة الانصهار ، فإن إحتمالية حدوث حالة التبخر تزداد إذا كان الفرق بين درجتي إنصهار القطعتين كبيراً إذا كانت القطعتان معدنين مختلفين.[9]

1.3.3.3 فوائد اللحام بالليزر:

إمكانية تحقيق اللحام في مواقع معينة يصعب الوصول إليها بالأدوات الأخرى وبمساحات صغيرة ، إمكانية لحام معدنين مختلفين ضمن حدود معقولة لفرق درجتي إنصهارهما. يستخدم عادة مع عملية اللحام بالليزر غاز خامل مثل الاركون أو النيديميوم يوجه على منطقة اللحام من خلال وحدة تركيز شعاع ،

إن إستخدام الغاز الخامل يمنع تأكسد منطقة اللحام ويساعد على حالة بخار المادة ، وبالتالي الحصول على لحام جيد وحماية العدسة اللامة من البخار المتكثف. ومن المحاذير التي قد تنجم عن وجود البخار المعدني بين الشعاع والعينة عندما تكون قدرة الليزر عالية ، إن الحرارة الناتجة عند السطح تستطيع أن تؤين البخار وتحوله إلى بلازما.[9]



حام المعادن

ويكون تأثير [illegible] سطح المعدن. إن من الليزرات النبضية والمستمره يمس [illegible] ظف الأول لإنجاز لحام في بقع صغيرة والثاني في لحام مسافات معينة بين قطعتين أو اكثر ، بواسطة حركة الشعاع أو العينة بسرعة معينة تحددها قدرة الشعاع وعمق اللحام المطلوب ، وكذلك يمكن توظيف الليزر النبضي ذي معدل التشغيل العالي في لحام الدرز (Seam Welding) الشبيه باللحام المستمر. بصورة عامة يفضل تثبيت القطعتين المعدنيتين ووضعهما في حالة تلامس لمنع تطاير المادة المنصهرة الضرورية لتكوين لحام جديد.[9]

2.3.3.3 أنواع اللحام:

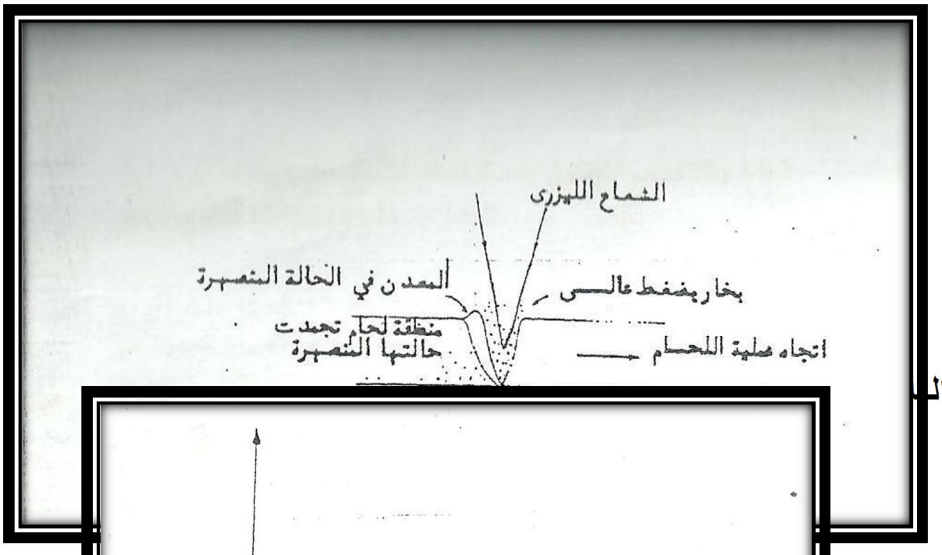
1. اللحام الدقيق :

تعتبر قابلية تركيز الحزمة الشعاعية لليزر في مساحة صغيرة جداً لا يتعدى قطرها بضع مايكرونات وسهولة توجيه الشعاع والسيطرة عليه ، المحفز الرئيسي لإستخدام الليزر في لحام أجزاء متناهية في الصغر ، كما في الدوائر المتكاملة حيث تكمن الفائدة الكبيرة في لحام أسلاك التوصيل لأنها توفر إمكانية حساب كمية الحرارة اللازمة للمساحة المطلوبة ، وبذلك يمكن تلافي الأعطاب التي تصيب هذه الدوائر إذا ما تعرضت إلى حرارة أكبر مما تتحمل ، والتي غالباً ما تحدث من جراء إستخدام الطرق التقليدية. كما المستوى العالي للدقة في تصنيع هذه الدوائر يسمح بتصنيع دوائر معقدة على مساحة صغيرة جداً ، ولهذا الغرض يستخدم عادة ليزر النيديميوم الذي يفضل على ليزر ثاني أوكسيد الكربون، بسبب سهولة إمتصاص طوله الموجي الذي يبلغ 1.06 مايكرون (1.06µm) من قبل المعادن.[9]

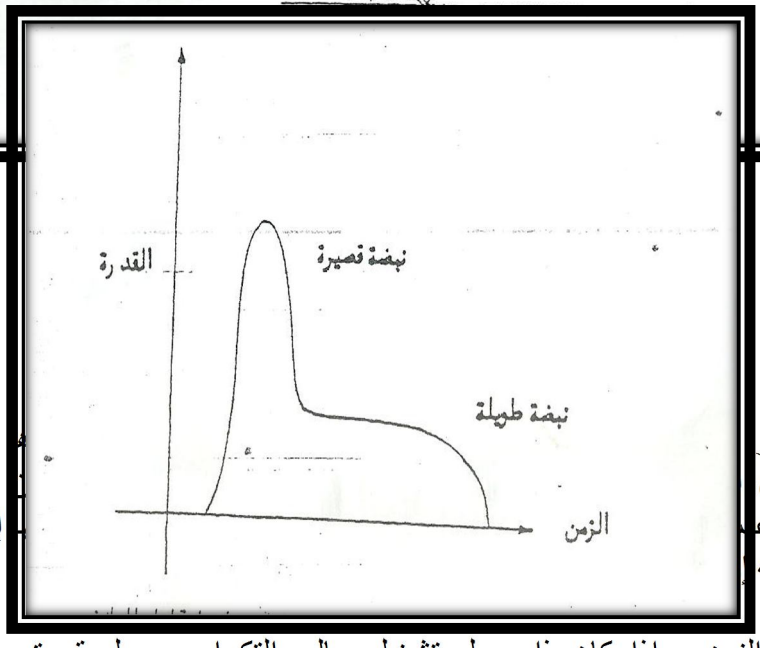
2. لحام المعادن السميكة:

تتعقد عملية اللحام عند إستخدام ليزر ثاني أوكسيد الكربون المستمر أو النبضي ذي القدرة العالية 2-6 كيلو واط (2-6kw) ، لأن المسألة تتجاوز مجرد انتشار بسيط للحرارة من السطح إلى عمق المادة ، فالقدرة العالية تعمل على تبخير مقدار كبير من المعدن مكونة حفراً صغيرة تنفذ من خلالها طاقة شعاع الليزر ، فتدخل خلال هذه الحفرة إلى مناطق أعمق وأعمق داخل المادة ، حتى تكون ثقباً ينفذ إلى السطح السفلي للعينة. تعمل حركة شعاع الليزر عند الخط الفاصل بين القطعتين على صهر المادة باتجاه حركة الشعاع لتملأ الفراغ الذي خلفها بالمادة المنصهرة ، وهكذا حتى يتم لحام القطعتين كلياً . تعتمد عملية اللحام بالنسبة لليزر النبضي على شكل النبضة إذ يفضل أن تكون بهيئة نبضتين متداخلتين ، الأولى قصيرة حوالي 100 مايكروثانية (100µs) ولها قدرة عالية تلحقها نبضة أطول ولكن بقدرة أقل.[9]

شكل رقم (7) يوضح عملية اللحام لسمك كبير



شكل (8) ال



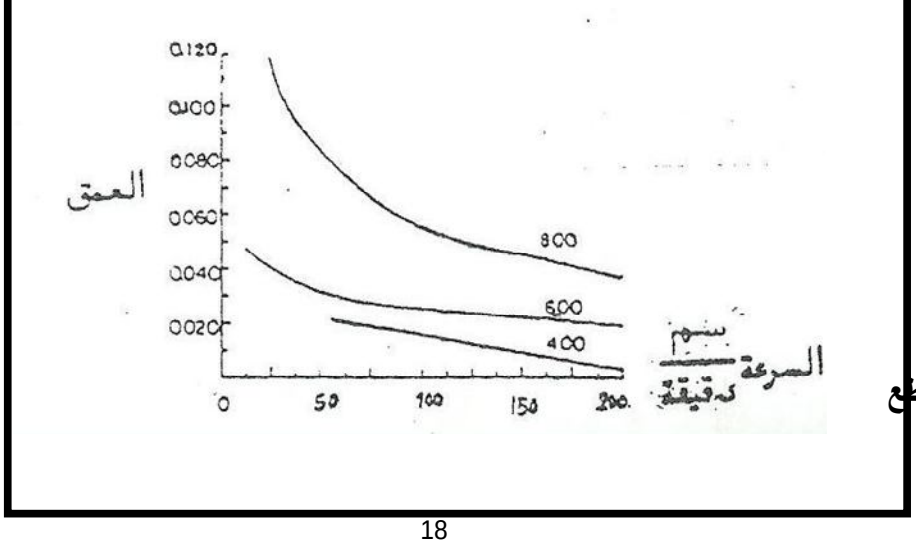
تسبب القدر النبضة الطويلة
لتصهر المادة حول المستمر تجارياً
بقدرات تصل إلى ع إلى (0.05m) ،
بمعدل تصل سرعته

3. لحام الدرز:

أن الليزر النبضي إذا كان ذا معدل تشغيل عالي التكرار ومعدل قدرة بحدود 100 واط (100w) يمكن أن يؤدي عملية اللحام لبعض المواد ، بينما لا يستطيع ذلك ليزر النمط المستمر الذي يعمل بالقدرة نفسها.

أن السبب يكمن في القمم العالية للقدرة التي يتميز بها الليزر النبضي القادرة على تحطيم مقاومة السطح المعدني ، مسببة زيادة في إمتصاص أشعة الليزر من قبل المعدن فتؤدي إلى صهره ولحامه ، إن عملية اللحام تجري بسرعة كبيرة بالنسبة للألواح المعدنية الرقيقة ، ولكنها ليست كذلك بالنسبة للألواح السميكة بسبب صعوبات التوصيل الحراري ، وكذلك لأن عمق اللحام يعتمد على مقدار القدرة المستخدمة خصوصاً عند تثبيت السرعة.[11]

شكل (9) عمق اللحام كدالة للسرعة للحديد غير الممغنط 304 عند إستخدام ليزر النيديميوم المستمر



4.3.3 قطع

من المستحب أن يتم تبخير المعدن في هاتين العمليتين دون المرور بحالة الإنصهار ، وهذا يتطلب رفع حرارته إلى درجة الغليان بسرعة كبيرة عن طريق تشعيعه بكثافة قدرة عالية تحدث ثقباً إذا كانت العينة ثابتة أو قطعاً إذا كانت العينة متحركة ، حيث يتم إستخدام ليزر النمط النبضي أو المستمر في الحالة الأولى وليزر النمط المستمر في الحالة الثانية ، وفي عملية التثقيب يفضل إستخدام نبضات ليزر ذات أطوال زمنية أو أمد مقداره 100- 1000 مايكروثانية -100) (1000µs، إذ أن سقوطها على سطح معدني يزيل كمية من المعدن بالحالة السائلة والبخارية على إمتداد مسار الشعاع.[9]

1.4.3.3 القطع:

إن السرعة العالية في عمليات القطع التقليديةللمعادن الصلدة جداً ، مثل سبائك التيتانيوم تؤدي إلى قصر عمر سكينة القطع ، لما كان إستخدام هذه المواد كثيراً في الصناعة ، تصبح العملية مكلفة جداً ، ولذلك يلتجأ إلى الليزر لتحقيق زيادة في سرعة القطع ، حيث يركز الشعاع ويوجه إلى سطح اللوح المعدني لتسخينه وتليينه ومن ثم تستخدم الة القطع التي لا تتأثر كثيراً عندما تعمل بالسرعة نفسها ، وتبقى باردة مما يؤدي إلى زيادة عمرها حيث إن الخط الذي تقطع على امتداده يكون قد سخن مسبقاً وصارت مقاومته ضعيفة أمام آلة القطع.[9]

تهدف عملية القطع بالليزر إلى تبخير المادة بأسرع ما يمكن وإحداث تأثير حراري في أضيق جزء ممكن لضمان أقل تشويه في العينة ، إن أغلب منظومات القطع بالليزر تستخدم أحد الغازات ليساعد في القطع ، وفي حالة المعادن الفلزية يستخدم الأوكسجين الذي يزيد سرعة القطع ، حيث يؤدي إلى احتراقها بشعاع الليزر وإلى اعطاء طاقة مضافة ، وللغاز الذي يوجه عادةً نحو العينة فائدة أخرى، حيث يساعد على إزالة القطرات المعدنية المتطايرة من منطقة القطع ، لأن بقاءها يؤثر سلباً في عملية القطع ، أما بالنسبة لقطع المواد غير المعدنية مثل الخشب والبلاستيك فيفضل إستخدام غاز خامل مثل الهيليوم بدلاً من الأوكسجين لمنع احتراق العينة ، ويقوم شعاع الليزر بتوفير كل الطاقة المطلوبة ، يوضح الجدول التالي بعض معدلات سرعة القطع لمعادن مختلفة ، إذ أن زيادة القدرة تساعد في قطع معادن ذات سمك أكبر عند ثبات السرعة ، أما إذا أريد زيادة عمق القطع بالقدرة نفسها عندئذ لابد من تقليل السرعة.

جدول رقم (2) يوضح معدلات سرعة القطع لمعادن مختلفة

المعـــدن	السمـــك(ملم)	سرعة القطع (ملم/ ثانية)	القـــدرة (كيلوواط)
المنيوم	1.3	97	2
المنيوم	13	14	3
حديد كاربوني	3.2	9	0.2
سبيكة تيتانيوم	6.4	47	0.25
زجاج	3.2	76	5
سيراميك	6.4	8	0.85

يوضح الجدول رقم (2) إن قيم القدرة المبينة للحديد الكربوني ولسبيكة التيتانيوم صحيحة فقط عند إستخدام الأوكسجين مع شعاع الليزر ، هذا وبالإضافة إلى تأثير سرعة القطع فإن لعرض القطع وعرض المنطقة المتأثرة بالحرارة أهمية إضافية في تحديد نوع الليزر ومقدار قدرته ، إن عرض القطع في مثل هذه التطبيقات يقترب من قطر الشعاع الساقط على اللوح المعدني ، وقد يمكن إستخدام بعض العدسات من الحصول على قطع عرض بحدود 0.2 ملم ، ولا يتجاوز التأثير الحراري على جانبيه أكثر من 0.02ملم ، بإستخدام ليزر ثاني أوكسيد الكربون المستمر. يستخدم هذا النوع من الليزر لقطع أغلب المواد عدا النحاس والبراص والألمونيوم بسبب إنعكاسيتها العالية للطول الموجي (10.6µm) ، وأيضاً بسبب كبر قيمة توصيلها الحراري.

لهذا يفضل ليزر النيودميوم- ياك في قطع المعادن الثلاثة المذكورة لأن انعكاسيتها للطول الموجي 1.06مايكرون قليلة ، وأما بالنسبة للمواد غير الفلزية فإن لليزر عدة فوائد منها تلافي الكسر

وسرعة وسهولة العملية، خاصةً بالنسبة للمواد غير القابلة للخراطة ذات التكسر السريع كالزجاج والخزف والسيراميك.[9]

1.1.4.3.3 مميزات عملية القطع بالليزر مقارنة بالوسائل القديمة:

- السرعة والدقة والنظافة في القطع
- إمكانية تشغيل الليزر وإيقافه أنياً وبهذا يمكن القطع في منطقة وسطية من الاقمشة
- يمكن القطع بزوايا حادة وأشكال متعددة يصعب تحقيقها مع الوسائل الإعتيادية.
- إمكانية ثقب وتقطيع مواد صلبة كالماس.
- القص والقطع في أماكن صعبة وخلف الحواجز الشفافة حيث ينفذ شعاع الليزر خلالها ويصل إلى الموضع المراد مكننته وهذا ما يستحيل تحقيقه بالوسائل الإعتيادية
- يسلط عند القطع والتثقيب بالوسائل الإعتيادية ضغط على الأداة لتسهيل العملية وهذا يؤدي في الغالب إلى تشويه منطقة التماس بين الأداة والقطعة ولا وجود لمثل هذا الضغط عند إستخدام الليزر ولهذا لا يحتاج السطح إلى تنعيم وتعديل بعد إجراء عمليات المكننة.[10]

2.4.3.3 التثقيب بالليزر:

تعتبر هذه العملية من أوائل التطبيقات الصناعية وترجع إلى عام 1965م ، حيث استخدم ليزر الياقوت في تثقيب الماس بعمق 2ملم ، وحينها لم تستغرق العملية سوى 15دقيقة مقارنةً مع 24 ساعة بالطرق التقليدية.

تعتمد عملية التثقيب على رفع درجة حررة سطح المادة إلى درجة أعلى من درجة الغليان، وترتفع أكثر كلما قصر طول الزمن للنبضة ، لأن الوقت بالنسبة للنبضة الطويلة قد يكون كافياً لتبديد طاقة الشعاع إلى بقية حجم العينة ، ولهذا السبب يكون الليزر النبضي أكثر تأثيراً في عملية التثقيب من الليزر المستمر.

إن الإنعكاسية العالية للطول الموجي (10.6) مايكرون ، بالنسبة لأغلب المعادن تجعل ليزر ثاني أوكسيد الكربون غير محبذ ، ويفضل عندئذ إستخدام ليزر النيديميوم في عمليات التثقيب. توصف أبعاد الثقب في مثل هذا التطبيق بالمقدارين A و B حيث يمثل البعد الأول النسبة بين عمق الثقب وقطره ، أما البعد الثاني فيمثل النسبة بين قطر مدخل الثقب إلى قطره في نقطة المنتصف. وقد وجد من خلال التطبيق العملي بان إستخدام عدة نبضات(بقدرات معتدلة) لاحداث ثقب واحد يفضل على إستخدام نبضة واحدة (ذات قدرة عالية) لأنه يسبب زيادة المقدار A ونقصان المقدار B ، حالما يصطدم الشعاع بالمادة في زاوية سقوط غير عمودية ، حتى يبدأ الثقب بالتكون لينفذ من نهاية الثقب بطريقة تشبه إنتقال الموجة عبر قائد الموجه الضوئي.

إن هذا التأثير كثيراً ما يحدث في المواد الشبيهة بالزجاج ، والتي يتغير مقدار انعكاسها بصورة كبيرة إذا ما تغيرت زاوية السقوط على العكس من المعادن التي تكون لها انعكاسية ثابتة تقريباً . وكذلك يستخدم التثقيب بالليزر بالنسبة للمواد المطاطية والورقية بنجاح كبير ، حيث يتميز على الطرق التقليدية التي تؤدي الى تشوه المادة كما يحدث في تثقيب الأوراق.[9]

- **فوائد التثقيب بالليزر:**

1. لا حاجة لإستخدام أدوات التثبيت لذلك فهي عملية نظيفة وخالية من التلوث.
2. الإمكانية الجيدة في تثقيب المواد الهشة والقابلة للكسر دون صعوبة.
3. لا تسبب سوى قدر صغير من التأثير الحراري على المادة المجاورة للثقب بسبب صغر قطر الشعاع وقصر أمد النبضة.
4. إمكانية الحصول على ثقوب صغيرة جداً ناتجة عن القدرة على تركيز الأشعة.
5. إمكانية إجراء ثقوب موضعية. [9]

- **مساوئ التثقيب بالليزر:**

1. محدودية عمق الثقب بسبب محدودية طاقة نبضة الليزر.
2. إعادة تكثف المادة المتطايرة على الجدار الداخل للثقب.
3. خشونة الجدار الداخلي للثقب والتي قد تتطلب عملية أخرى لإزالتها.
4. صعوبة الحصول على ثقب أسطواني منتظم في حالة الألواح السميكة التي تزيد على 2ملم.[9]

الفصل الرابع
الإطار العملي

1.4 مقدمة:

هذا الجانب يمثل شرح للطريقة العملية التي بواسطتها تم قطع مواد مختلفة (خشب، فايبر، ورق مقوى) بإستخدام ليزر الانديك ذو الطول الموجي 1064نانو متر والذي يعمل بقدرة تتراوح بين 10و60واط.

2.4 الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- اربعة قطع خشب سمكها 2 ملم
- اربعة قطع بلاستيك (فايبر) سمكها 3 ملم
- اربعة قطع ورق (ورق مقوى) سمكها 1.5 ملم
- ساعة إيقاف
- جهاز ليزر الانديك ذا الطول الموجي1064 نانو متر

نبذة عن الجهاز:

اسم الجهاز Dornier Medtech الشركة المصنعة Dornier Mediles Firbertom 5100 صناعة المانية, يعمل هذا الجهاز بنمط تشغيل نبضي ومستمر في المنطقة المرئية وغير المرئية من الطيف بقدرة تتراوح بين 10_60 واط هذه القدرة تؤثر وبصورة مباشرة على العين والجلد (لذلك يتم لبس النظارة الخاصه). لكي يعمل الجهاز يتم فتح المصدر الكهربائي اولاً ثم فتح الجهاز, هناك شاشة صغيرة على الجهاز يتم فيها ضبط القدرة وتحديد نمط التشغيل ومن ثم يضغط على زر البداية لخروج شعاع الليزر عبر الليف الضوئي.

3.4 النظرية:

$$P = \frac{E}{t} \quad , \quad E = f.d \quad , P = \frac{f.d}{t}$$

$$\left(\frac{d}{t} = v\right)$$

$$\therefore P = f.v \qquad (1)$$

P ≡ القدرة بالواط

F ≡ القوة بالنيوتن

v ≡ السرعة (m/s)

t ≡ الزمن بالثانية

d ≡ المسافة بالمتر

4.4 كيفية الإجراء (طريقة العمل):

وضعت أربعة قطع من الخشب بصورة افقية ذات سمك واحد وسلط الليف البصري الناقل لشعاع الليزر (بعد فتح مصدر الطاقة والجهاز وتحديد نمط الاشتغال مستمر) وبتثبيت الزمن 30 ثانية للاربعة قطع وتغيير القدرةإبتداءً من 30 واط للقطعة الاولى و40 واط للقطعة الثانية و50 واط للقطعة الثالثة و60 واط للقطعة الرابعة وقيست المسافة التي تم قطعها في كل مرة .

وكررت هذه العملية على قطع الفايبر والورق المقوى وسجلت النتائج.

5.4 النتائج:

جدول رقم(1.5.4) نوع المادة: خشب, السمك:2mm , الزمن: 30 ثانية

القدرة (واط)	المسافة (ملم)	سرعة القطع (ملم/ثانية)
30	4	0.13
40	6	0.2
50	7	0.23
60	8	0.26

جدول رقم(2.5.4) نوع المادة: فايبر , السمك: 3mm , الزمن: 30 ثانية

القدرة (واط)	المسافة (ملم)	سرعة القطع (ملم/ثانية)
30	3	0.1
40	5	0.16
50	7	0.23
60	8	0.26

جدول رقم(3.5.4) نوع المادة: ورق مقوى , السمك: 1.5mm ,الزمن:30 ثانية

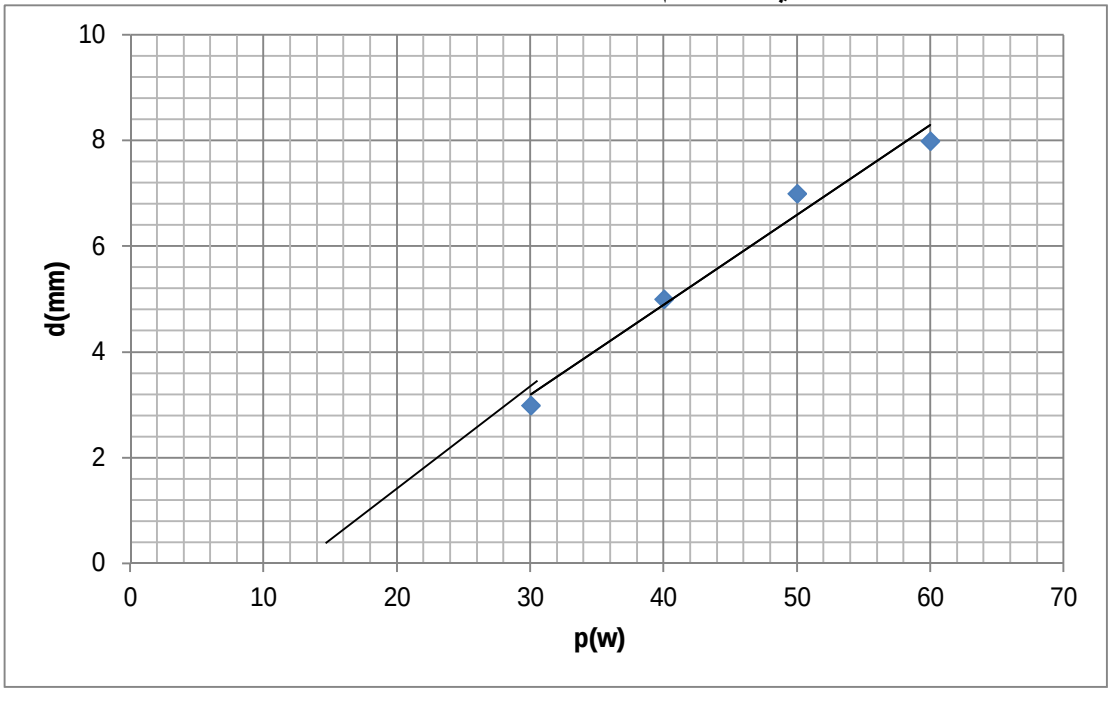
القدرة (واط)	المسافة (ملم)	سرعة القطع (ملم/ثانية)
30	5	0.16
40	9	0.3
50	12	0.4
60	13	0.43

6.4 الرسم البياني:

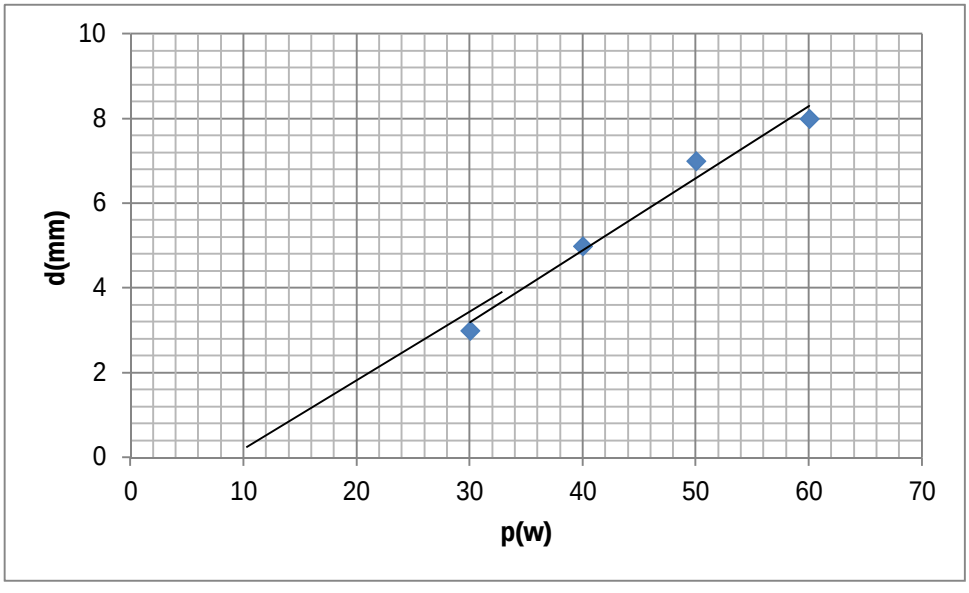
(1.6.4) رسم يوضح العلاقة بين القدرة (p) والمسافة (d) للخشب.

كل 1cm على المحور السيني ≡ 10 واط.

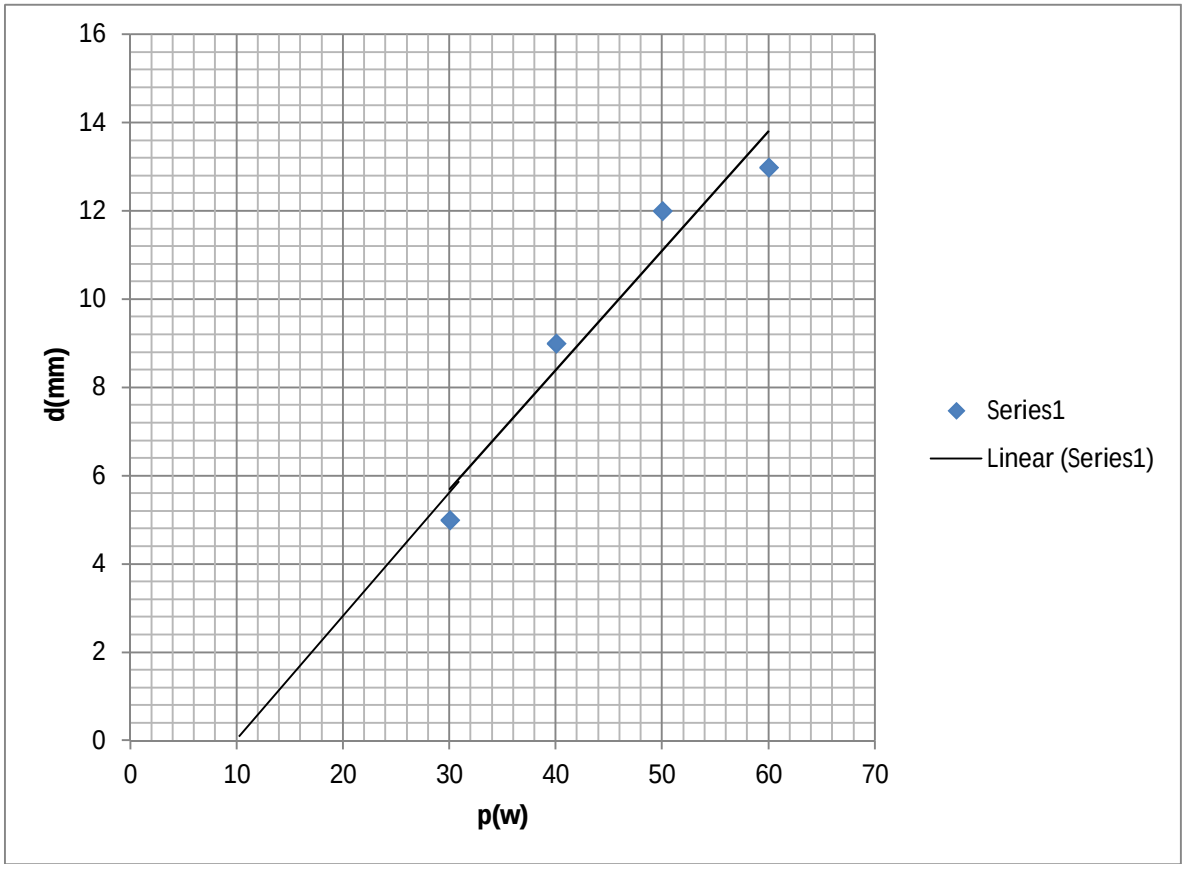
كل 1 cm على المحور الصادي ≡ 2 ملم



(2.6.4) رسم يوضح العلاقة بين القدرة (p) والمسافة (d) للفايبر.
كل 1cm على المحور السيني ≡ 10 واط.
كل 1 cm على المحور الصادي ≡ 2 ملم



(3.6.4) رسم يوضح العلاقة بين القدرة (p) والمسافة (d) للورق المقوى.
كل 1cm على المحور السيني ≡ 10 واط.
كل 1 cm على المحور الصادي ≡ 2 ملم



7.4 مناقشة النتائج:

بالنظر للشكل (1.5.4) الذي يوضح علاقة القدرة(P) بمسافة القطع (d) بالنسبة للخشب يتضح ان هناك تناسب طردي بينهما, وهذه العلاقة هي علاقة خطية وتتفق هذه العلاقة التجريبية مع العلاقة النظرية في المعادلة (1). وبالنسبة للشكل (2.5.4) الذي يوضح علاقة القدرة (p) بمسافة القطع (d) بالنسبة للفايبر يتضح ايضاً ان هناك تناسب طردي بينهما وهذه العلاقة هي علاقة خطية وتتفق هذه العلاقة التجريبية مع العلاقة النظرية في المعادلة (1). وكذلك بالنسبة للشكل (3.5.4) الذي يوضح علاقة القدرة (p) بمسافة القطع (d) بالنسبة للورق المقوى يتضح كذلك ان هناك تناسب طردي بينهما وهذه العلاقة هي علاقة خطية وتتفق هذه العلاقة التجريبية مع العلاقة النظرية في المعادلة (1).

وهذه النتائج تتفق مع نتائج الباحث محمدي حسان الذي ذكرت نتائجه في بند (1.1) في مقدمة البحث, حيث اوضح بحثه ان قدرة الليزر (P) تتناسب مع عمق القطع (d) وهذا العمق يناظر مسافة القطع في هذا البحث. ومن الجداول الخاصة بالنتائج لوحظ ان أكبر سرعات قطع كانت للورق المقوى ،واوضح الرسم البياني أيضاً ان اصغر عتبة قطع (أقل قدرة للقطع) كانت للورق المقوى ذا السمك الاصغر.

8.4 الخاتمة:

اوضح هذا البحث ان مسافة القطع تتناسب طرديا مع القدرة المستخدمة وهذه العلاقة تتفق مع العلاقات النظرية والدراسات السابقة.

التوصيات:

- يجب انشاء هيكل اشرافي لضم الجهات المختصة بالابحاث الليزرية والمعامل المختبرية فيما يخص التجارب.
- العمل على نشر الوعي الصناعي بالليزر بكل السبل المتاحة لاستعماله في الصناعة.
- تاهيل المعامل الليزرية بتوفير الدعم المالي المتاح لتنفيذ مثل هذه التجارب .
- المشاركة فى السمنارات والاجتماعات الداخلية والخارجية لإكتساب خبرات وتبادل المعلومات في عمل الليزر.
- التدريب للأطر الفنية العاملة في مجال الليزر.
- العمليات الصناعية التي تتم بالليزر يجب ان تجد رعاية من قبل المسؤليين ومن يختص في هذا المجال.

المراجع والمصادر

[1] سـي.بي.هتز ترجمـة صـالح نـووي صـالح وهشـام محمـد أحمـد الراوي_مفـاهيم تكنولوجيـا الليزر_1984 م.

[2] ف. س.غولوييف,ف.ق.ليبديف _ ترجمه محمد غانم _ الاسس الفيزيائية لليزرات التقنية_المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر _الطبعة الاولى 1992.

[3] سهام عفيف قندلة_الليزر والأسس الفيزيائية وبعض التطبيقات العملية_الطبعة الأولى_دار الشئون الثقافية العامة_1991م.

[4] Mohammdi Hassan_Evaluation of Nd:YAG Laser Cutting of Non metallic Materials_M.SC Thesis_Sust(feb.2006).

[5] Abu Elnuor Abdeen Ali _ Metals Soldring by Nd:YAG Laser and Conventional Method_ M.SC Thesis_Sust(october.2006).

[6] فاروق بن عبدالله الوطبان_الليزر وتطبيقاته_دار المريخ للنشر_1987م.

[7] غـازي ياسـين القيسـي_ اساسـيات البصـريات والليـزر_ دار المسـيرة للنشـر والتوزيـع والطباعة_2009م.

[8] lectures/laser/laser lectures13.htm [http://www.hazemsakeek.com/physics

[9] خالـد عبدالحميـد الخطيـب ووليـد خلـف حمودي_ضـوئيات الكـم والليزر_المكتبـة الوطنيـة ببغداد_1989م.

[10] أورازيوزفلتو_ ترجمة صبيحة شريف عبد الله ومنعم مشكور_مبادئ الليزرات_دار الكتب للطباعة والنشر_1988 م .

[11] زيدان اسعد_مبادئ الليزر وتطبيقاته_ اكاديمية الاسر للهندسة العسكرية_1998م.