بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا
كلية الدراسات العليا

إستخدام الليزر في عملية اللحام

welding process by using laser

بحث تكميلي لنيل درجة الماجستير في الفيزياء

إعداد:

العوض عبد الله فالح

إشراف:

د. أحمد الحسن الفكي

2015م

الآية

قُلْ لَوْ كَانَ الْبَحْرُ مِدَادًا لِكَلِمَاتِ رَبِّي لَنَفِدَ الْبَحْرُ قَبْلَ أَنْ تَنْفَدَ كَلِمَاتُ رَبِّي وَلَوْ جِئْنَا بِمِثْلِهِ مَدَدًا (109)

سورة الكهف الآية (109)

الإهداء

أهدي هذا البحث لكل الذين أمدوني بالحب والحنانأمي وأبي والذين دعموني في مسيرتي التعليمية بالغالي والنفيسأخوتي وأخواتي وأخص بالذكر د. بكري عبد الله فالح و الذين وهبوني غرة جهدهمأساتذتي الأجلاء ولكل الذين علموني من أجل الإنسان والإنسانية جمعاءعلمائي الأجلاء ولكل الذين يفيضون بأريج المحبة والأخوة الصادقةلكل زملائي الأعزاء.

شكر وعرفان

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم: (أطلبوا العلم من العهد إلى اللحد) خالص الشكر والثناء إلى ذلك المعين المتدفقعطاءً وجداً **الدكتور/ أحمد حسن الفكي**والشكر إلىجامعة السودان للعلوم والتكنولوجياكلية العلوم ومعهد الليزروالشكر إلىأساتذة كلية العلوم قسم الفيزياء بجامعة السودان للعلوم والتكنلولوجيا.

فهرس الموضوعات

الموضوع	الصفحة
الآية	أ
الإهداء	ب
شكر وعرفان	ج
فهرس الموضوعات	د
ملخص البحث	و
Abstract	ز
الفصل الأول	
المقدمة	**2**
مشاكل البحث	**1**
أهداف البحث	**1**
طريقة البحث	
الفصل الثاني: أشعة الليزر	
2-1 المقدمة	**4**
2-2 الليزر	**5**
2-3 خصائص أشعة الليزر	**5**
2-4 أسس عمل الليزر	**8**
2-5 المكونات الأساسية لجهاز الليزر	**10**
2-6 فكرة الليزر	**11**
2-7 أنواع الضخ	**14**
الفصل الثالث: أنواع الليزرات	
3-1 المقدمة	**16**
3-2 ليزر الحالة الصلبة	**16**
3-3 ليزر الحالة السائلة	**17**
3-4 ليزرات الحالة الغازية	**18**

3-5 ليزر الحالة الكيميائية	**19**
3-6 ليزر البلازما	**20**
3-7 ليزر أشباه الموصلات	**21**
الفصل الرابع: تطبيقات الليزر الصناعية	
4-1 المقدمة	**23**
4-2 أمثلة على التطبيقات الصناعية	**24**
الفصل الخامس: اللحام	
5-1 المقدمة	**30**
5-2-1 اللحام	**30**
5-2-2 مميزات اللحام	**31**
5-2-3 أنواع اللحام	**31**
5-2-4 اللحام بالطرق التقليدية	**33**
5-2-5 اللحام بالليزر	**35**
5-3 الخاتمة	
5-4 التوصيات	
المراجع	
الملاحق	

فهرس الأشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
2-1	إنتشار حزمة الليزر	6
2-2	ترابط وتماسك أشعة الليزر	8
2-3	الإنبعاث التلقائي	9
2-4	عملية الإنبعاث المستحث	9
2-5	عملية الإمتصاص	10
2-6	مكونات جهاز الليزر	11
2-7	تغيير فيض الفوتون (df) لموجة مستوية فيضها (f)تنتشر على طول محور (z) خلال المادة ولمسافة (dz)	12
2-8	مخطط ليزر المستويات الثلاثة وليزر المستويات الأربعة	14
5-1	مخطط لشكل النبضة الليزرية المناسبة لعملية لحام المعادن	37
5-2	عمق اللحام كدالة للسرعة للحديد غير الممغنط 304 عند إستخدام ليزر التيدميوم المستمر	38

مخلص البحث

في هذا البحث دُرس نظرياً عملية اللحام بإستخدام الليزر والتي تعتبر من أهم التطبيقات الصناعية لليزر، ووُجد أيضاً لكي تكون الوصلة بين الجزئين المراد لحامهما من الموصلات الجيدة يجب أن يكون هنالك تقارب بين ذرات الجزئين المراد وصلهما حتى تتكون بلورات معدنية مشتركة تحقق ذلك الوصل والإرتباط المثالي، وأيضاً قُورن بين طرق اللحام التقليدية وطرق اللحام الحديثة بإستخدام الليزر.

Abstract

In thesis we study the process of welding by utilizing the laser technique was studied order to make the process of welding for two good metals then the molecules of the two metals should be close to each other were found, So that had perfected correlation.

the traditional techniques of welding compered with the modern techniques witch was done by usingthe laser.

1-1 المقدمة:

تعتبر تكنولوجيا الليزر من العلوم المتطور في العديد من التطبيقات مثل إستخدام الليزر في التطبيقات الصناعية والطبية والأبحاث العلمية والعسكرية وأي مستخدم مهما إختلف تخصصه فهو بحاجة لفهم مبدأ عمل الليزر أي ما يعرف بفيزياء الليزر.

ومن المألوف في الوقت الحالي إستخدام كلمة ليزر كإسم للجهاز الذي ينتج هذا النوع من الأشعة. ومن الناحية التاريخية يعتبر جهاز الليزر ثمرة (للميذر) وهو جهاز مماثل يستخدم أمواج المايكرويف بدلاً عن أمواج الضوء المرئي. وفي عام 1916م أرسى العالم ألبرت آينشتاين المبادئ الضرورية للتطورات اللاحقة في فيزياء الليزر وذلك في بحثه المنشور بعنوان (الإنبعاث المستحث) ولقد بينت أفكار آينشتاين على نتائج الكم لبلانك.

أما أول جهاز مبذر بـُذِيَ بنجاح على يد تشارلز تاونز ومساعديه في جامعة كولومبيا بالولايات المتحدة الأمريكية بين عامي 1951م_ 1953م ولقد نال تاونز جائزة نوبل للفيزياء عام 1964م بالإشتراك مع العالمين السوفيتين بأسوف وبروقوف على أبحاثهم في هذا المجال.

وفي عام 1958م نشر تشارلز تاونز وآرثر شارك من مختبرات بك الأمريكية بحثاً ضمناه أسس المبذر الضوئي و أسمياه الليزر.

ولقد قام تيودور ميمان عام 1960م ببناء أول ليزر بنجاح في مختبر شركة هيوجز للطائرات مستخدماً تلك الأسس ومن ذلك الحين أجريت أبحاث كثيرة لتطوير الليزر.

وتعددت تطبيقاته في شتى نواحي الحياة وأصبحت هذه الأجهزة واسعة الإنتشار من حيث إستخداماتها في مجالات كثيرة من حيث أحجامها وأشكالها.

2-1 مشاكل البحث:

1. عملية اللحام بالليزر تحتاج إلى سيطرة دقيقة تعتمد على مواصفات الشعاع قد يتطلب ذلك تصميماً معقداً ومكلفاً لكي تتمكن المنظومة من أداء العملية المطلوبة بدقة.
2. يتطلب على العاملين بهذه المهنة المعرفة التامة للتعامل بالليزر.

3-1 الأهداف:

إن عملية اللحام بالطرق التقليدية تصاحبها تلوث الأبخرة والنفايات والصوت أثناء عملية اللحام في بيئة العمل وللتقليل من هذه الأضرار أستخدمت تقنية الليزر في اللحام والتي تمتاز بالآتي:

1. عملية اللحام بالليزر تتم بمجهود قليل وبدقة عالية ورفع الإنتاج ولا تحتاج إلى جهد ميكانيكي.
2. عملية اللحام بالليزر يتم التعامل مع جزء من القطعة دون التأثير على بقية الأجزاء.
3. إمكانية تخفيف اللحام بالليزر في مناطق يصعب الوصول إليها بالطرق التقليدية.

4-1 طريقة البحث:

الطريقة النظرية البحتة.

5-1 محتوى البحث:

في هذا البحث تمت الدراسة النظرية لعملية اللحام بالليزر والتي تعتبر من التطبيقات الصناعية الهامة، يحتوي الفصل الأول على المقدمة ومستخلص البحث باللغتين العربية والإنجليزية ومشاكل البحث وأهداف البحث والطريقة التي أُستخدمت في البحث، كما تناول الفصل الثاني مبادئ الليزر وخواصه وصفاته وتناول في الفصل الثالث أنواع الليزرات، ليزر الحالة الصلبة والسائلة والغازية والكيميائية وليزر البلازما وليزر أشباه الموصلات كما تناول في الفصل الرابع عن تطبيقات الليزر الصناعية مثل التطبيقات الكهربائية والنووية ونسخ المعلومات والسباكة والصناعة الإلكترونية وعلم الفلك وعلم طبقات الأرض وأخيراً تحدث في الفصل الخامس عن اللحام ومميزاته وأنواعه وطرق اللحام بالليزر والطرق التقليدية والمقارنة بينهما وفوائد اللحام بالليزر.

الفصل الثاني
أشعة الليزر

2-1 المقدمة:

في هذا الفصل سنتناول تعريف الليزر وخصائصه وأسس عمله وكيفية الحصول على الليزر وأنواع الضخ في جهاز الليزر.

2-2 الليزر:

هو عبارة عن جهاز يحول الطاقة من مصادر مختلفة إلى صورة إشعاع كهرومغناطيسي (ضوء) يمتلك العديد من الخواص التي تميزه عن أي مصدر آخر، وجاءت تسمية كلمة (laser)من الأحرف لفكرة عمل الليزر:

Light amplification by stimulated emission of radiation

وتعني تكبير الضوء بواسطة الإنبعاث المحفز للإشعاع الكهرومغناطيسي [1].

2-3 خصائص أشعة الليزر:

لعل أهم الخصائص المشتركة لجميع أنواع الليزر التي تميز هذه الأشعة عن تلك التي تنبعث من المصادر الضوئية العادية هي ما يلي:

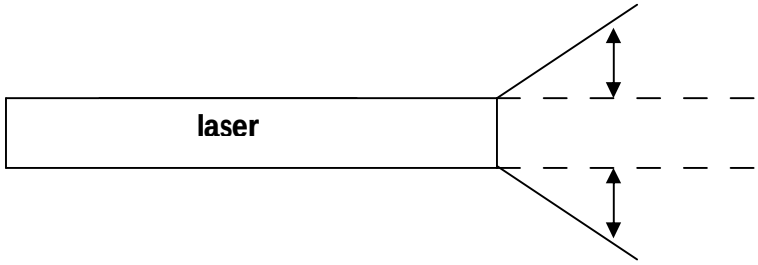
أولاً: شدة أشعة الليزر:

تبعث من المصباح الكهربي المستخدم في الإنارة أشعة من جميع الإتجاهات "فإذا إستقبلنا الأشعة الصادرة من مصباح كهربي بفتيلة قدرته 100 واط على بعد 30 متر مثلاً فإن القدرة التي تسقط على العين تكون أقل من 1% من الواط" في حين أنه ينبعث من الليزر ضوء على هيئة حزمة ضيقة تتركز طاقتها في منطقة ذات مسافة صغيرة للغاية وهذا التركيز للطاقة هو المسؤل عن الشدة العالية لأشعة الليزر، فإذا إفترضنا أننا قد نظرنا في إتجاه أشعة الليزر فإن كل القدرة المنبعثة التي تحملها أشعة الليزر سوف تسقط على العين حتى ولو كانت قدرة الليزر واحد واط. وتظهر أعلى شدة بألآف المرات من مصباح كهربي قدرته 100 واط[2].

ثانياً: إنتشار حزمة الليزر:

تنتشر حزمة أشعة الليزر في خطوط مستقيمة أقرب إلى التوازي. إذا أن زاوية إنفراج الأشعة ضئيلة للغاية حيث يتسع مقطعها بمقدار ميلمتر واحد لكل مسافة طولها متر. أن أشعة الليزر تفوق في تركيزها بملايين المرات الأشعة المنبعثة من المصادر الضوئية العادية، إذ أن تلك الأخيرة تمتد ويتسع مقطعها ليغطي مسافة قطرها حوالي كيلومتر، وهذا يعني أنه يمكن توجيه شعاع الليزر ليصل إلى أهداف بعيدة جداً يتبعثر مسافة واسعة مع إحتفاظه بمعظم شدته. فإذا أرسلت أشعة الليزر في

إتجاه القمر على مسافة 400 ألف كيلومتر من سطح الأرض وكانت شدته بالقدر الكافي فإنها تغطي بقعة على سطح القمر لا يزيد قطرها على الكيلومتر وتتوقف مساحة البقعة على الطول الموجي لليزر. ففي حين أنه إذا أرسلت ضوء عادي ووصل فرضاً إلى سطح القمر فإن قطر هذه المسافة يصل إلى 3476 كيلومتر كما هو موضح بالشكل (2-1) [2].



شكل (2-1): يوضح إنتشار حزمة الليزر

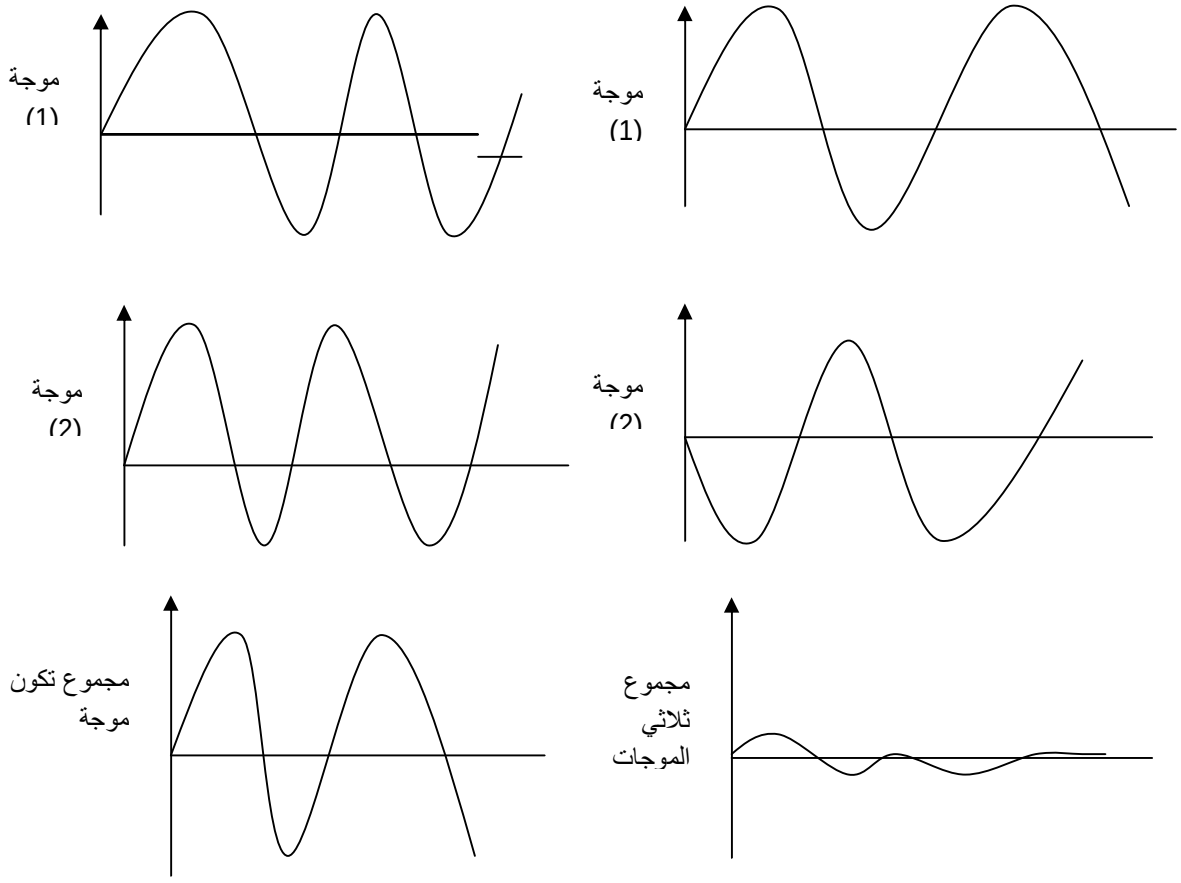
ثالثاً : النقاء الطيفي للأشعة وأحادية اللون:

إن شعاع الليزر عبارة عن حزمة ضوئية غاية في النقاء من ناحية الطول الموجي. وعند مقارنة الليزر بمصادر الضوء العادية نجد أنه ينبعث من المصادر الضوئية العادية كمصباح الزئبق الذي يستخدم في الإنارة حزمة من الأشعة بيضاء اللون ويميل اللون إلى الزرقة وا ٍذا ما نفذت هذه الأشعة خلال مرشح ضوئي مناسب فإنها نصفها بأنها وحيدة الطول الموجي. والحقيقة أن الأشعة المنبعثة من المصباح تحتوي على ألوان عدة لا تستطيع عين الإنسان أن تميز بينها وهي خطوط طيف ذرة الزئبق الذي يحتوى على خطين من الأصفر وخط واحد من الأخضر وخط من الأزرق وخطين من البنفسجي وبإستخدام مرشح ضوئي يسمح لخط واحد اي لون واحد بالنفاذ خلاله تحصل على ضوء أحادي الطول الموجي ويمكن أن يكون لونه أخضر إذا أستخدم المرشح المناسب ويمكن فصل تسجيل خطوط الطيف بإستخدام مطياف مصور.

أما أشعة الليزر فتتميز بأن الإشعاع الطيفي ضئيل للغاية بالمقارنة بخطوط الطيف المنبعثة من المصادر الضوئية التقليدية ولهذا فإننا بصفها بأنها غاية في النقاء من ناحية الطول الموجي أو التردد[2].

رابعاً : ترابط وتماسك فوتونات الأشعة:

وهذه الخاصية بالغة الأهمية حيث هناك ترابط وتماسك بين الفوتونات المكونة لشعاع الليزر. أي أن الفوتونات في الشعاع الضوئي ترتبط فيما بينها بعلاقات طورية الأمر الذي لا ينطبق على أشعة الضوء العادي، كما هو موضح بالشكل (2-2).



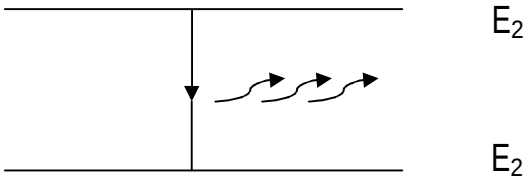
شكل (2-2): يوضح ترابط وتماسك الأشعة

2-4 أسس عمل الليزر:

2-4-1 الإنبعاث التلقائي:

نفترض وجود عدد من الذرات في أحد مستويات الطاقة ليكن (E_1) يقع تحت مستوى طاقة آخر (E_2) حيث أن ($E_1<E_2$) فعند إمتصاص فوتون طاقته ($h\nu$)

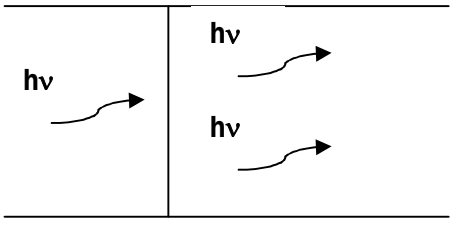
[$h\nu = (E_2 - E_1)$] تنتقل الذرات من (E_1) إلى المستوى (E_2). يليها إنتقال من المستوى (E_2) إلى المستوى (E_2) فتنبعث فوتونات عشوائية الطاقة والإتجاه والطور عبر إنتقال يسمى بالإنتقال التلقائي وهذه الخاصية متعلقة بالذرة نفسها ولا تحتاج إلى مؤثر خارجي كما بالشكل التالي[3]:



الشكل (2-3): يوضح الإنبعاث التلقائي [1]

2-4-2 الإنبعاث المحفز:

حيث يحصل أن تفاعل فوتون ثاني وهو فوتون له تماماً طاقة الفوتون الممتص نفسها_ مع الذرة المتهيجة فيحفزها لأن تبعث فوتوناً فإن هذا الإنبعاث يمكن أن يحدث قبل أن ينقضي العمر الزمني التلقائي وأن الفوتون الثاني لا يتم إمتصاصه من قبل الذرة لكن وجوده يتسبب في ان تبعث الذرة فوتون آخر وينبعث الضوء في إتجاه يحدده الفوتون المحفز لذا فإن كلا الفوتونين المنبعث المحفز يرتحلان بعد تركهما للذرة في الإتجاه نفسه وبما أن للفوتون المحفز الطاقة نفسها للفوتون المنبعث فإن الضوء المنبعث يمتلك الطول الموجي نفسه للضوء المحفز وكذلك فإن إستقطاب الضوء المنبعث هو أيضاً ذلك إستقطاب للضوء المحفز هذا بالإضافة إلى ان الضوء المنبعث يمتلك طور الضوء المحفز أيضاً . وتنطبق قمم الموجات الكهرومغناطيسية بعضها مع بعض وكذلك تنطبق تقعر اتها[4].



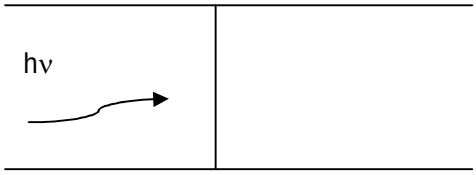
شكل (2-4): يوضح عملية الإنبعاث المحفز

2-4-3 الإمتصاص:

نفترض أن الذرة موجودة في البداية في المستوى الأرضي (E_1) للذرة فسوف تبقى هذه الذرة فترة من الزمن في هذا المستوى ما لم يؤثر فيها محفز خارجي. ولنفرض أن موجة كهرومغناطيسية ترددها يتحدد بالمعادلة:

$h\nu = E_2 - E_1$ سقطت على المادة.

ففي هذه الحالة هناك إحتمالية معينة لإنتقال الذرة إلى المستوى (E_2). إن فرق الطاقة $E_2 - E_1$ اللازمة لهذا الإنتقال تحصل عليه الذرة من الموجة الكهرومغناطيسية الساقطة وهي تمثل عملية إمتصاص[1].



شكل (2-5): يوضح عملية الإمتصاص

2-5 المكونات الأساسية لجهاز الليزر:

أ. الوسط الفعّال:

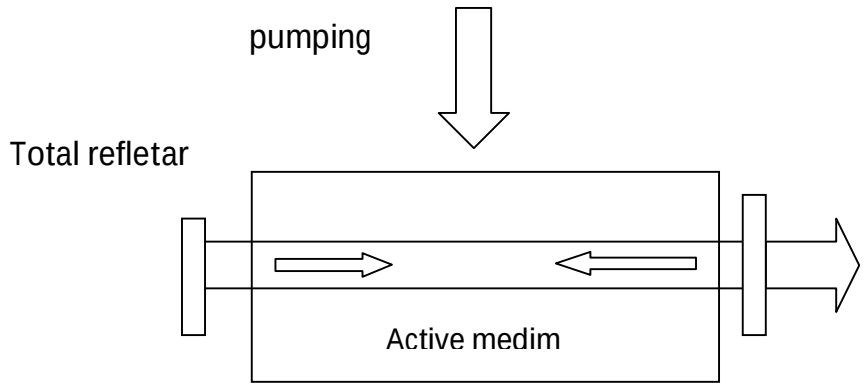
هو عبارة عن مجموعة من الذرات أو الجزيئات أو الأيونات الموجودة في سائل أو صلب أو غاز.

ب. الضخ.

ج. الإنقلاب السكاني.

د. المرنان.

هـ. التغذية العكسية.



وسط فعّال

شكل (2-6): يوضح مكونات جهاز الليزر [5]

2-6 فكرة الليزر:

لنأخذ مستويين من مستويات الطاقة E_2و E_1 عادة معينة مقدارها N_1وN_2 على التوالي. إذا إنتشرت في المادة بإتجاه Zموجة مستوية شدتها تقابل حزمة فوتونات فيضها F. إن تغير الفيض df بإتجاه Z في داخل المادة والمسافة dz والنتائج عن عمليتي الإنبعاث المحفز والإمتصاص.

$$df = \sigma f [N_2 - N_1] dz \longrightarrow (1-2)$$

df : التغيير في فيض الفوتون نتيجة عبوره مسافة مقدارها dz من الوسط

σ : مقطع الإنبعاث المحفز أو مقطع الإمتصاص وتكون له وحدة المساحة ($م^2$) ويعتمد فقط على الإنتقال.

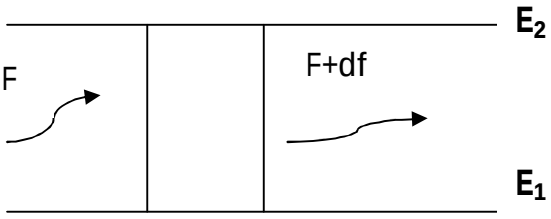
f : الفيض الفوتوني.

dz : المسافة في إتجاه z.

الفيض: هو عدد الفوتونات الساقطة في وحدة الزمن لكل وحدة مساحة.

إذا كانت $N_2>N_1$نستعمل المادة بمثابة مضخم وا ذا كانت $N_2<N_1$ نستعمل المادة بمثابة وسط ماص وفي حالة التوازن الحراري تعين تعدادات مستويات الطاقة بإحصائيات بونزمان:

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left[-\frac{(E_2 - E_1)}{KT}\right] \longrightarrow (2-2)$$



الشكل (2-7): تغير فيض الفوتون df لموجة مستوية فيضها *f* تنتشر على طول محور z خلال المادة والمسافة dz.

ولهذا ففي حالة التوازن الحراري يكون لدينا $N_2<N_1$ وحسب المعادلة (2-1) تعمل المادة بمثابة مادة ماصة عند التردد (ν) وهذا ما يحدث في الظروف العادية، ومن ناحية ثانية في حالة عدم التوازن الحراري التي يكون $N_2>N_1$ فإن المادة تعمل بمثابة مضخم ويقال أن هناك إنقلاب التعداد في المادة أي أن $N_2-N_1>0$ وفي الظروف العادية يكون فرق التعداد سالب ويطلق على المادة في حالة وجود إنقلاب التعداد بإسم المادة الفعالة ولكي تكون مذبذب من المضخم فمن الضروري إدخال تغذية إسترجاعية موجبة ذلك بوضع المادة الفعالة بين مرآتين ذواتي إنعكاسية عالية كما في الشكل (2-4) وفي هذه الحالة الموجة الكهرومغناطيسية المستوية التي تسير عمودياً على المرآتين ستتردد ذهاباً وإياباً بين المرآتين وتضخم في كل جولة خلال المادة. فإذا كانت إحدى المرآتين شفافة جزئياً فمن الممكن الحصول على الحزمة الخارجة والحصول على الحزمة الخارجة يجب أن يحقق شروط العتبة. في هذه الحالة سيبدأ التذبذب عندما يعادل تحصيل الفوتونات في المادة الفعالة الخسائر في الليزر واستناداً للمعادلة (1-1) فإن النسبة بين فيض الفوتونات الخارجة إلى الفيض الداخل هو [6]:

$$\text{Exp}\ [\sigma(N_2 - N_1)/L \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3\text{-}2)$$

حيث أن: L هي طول المادة الفعالة فإذا كانت الخسائر داخل التجويف هي خسائر النفوذية فعندئذٍ سيحقق حد العتبة عندما يكون:

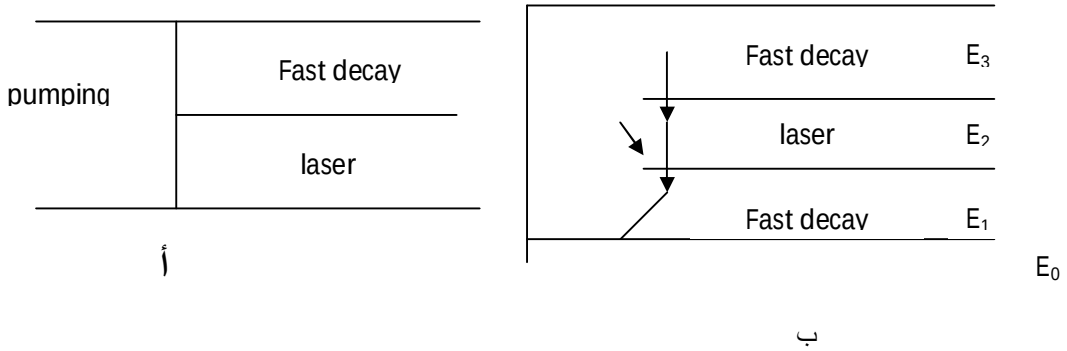
$$R_1R_2\ [(\sigma\ (N_2-N_1)/L \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}2)$$

حيث أن R_2R_1هما إنعكاسية المرآتين وهذه المعادلة تبين أن شرط العتبة يتحقق عندما يصل إنقلاب التعداد قيمة حرجة (N_2-N_1) ويدعى الإنقلاب الحرج ويعطى بالمعادلة:

$$(N_2-N_1)L = L_n(\underline{R_1R_2}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-2)$$

$$\sigma L$$

وطالما يتحقق شرط الإنقلاب الحرج يبدأ التذبذب بالنمو من الإنبعاث التلقائي إذ أن الفوتونات المنبعثة تلقائياً التي تسير موازية لمحور التجويف ستبدأ عملية التضخيم هذا هو أساس المتذبذب الليزري والحصول على إنقلاب التعداد للمستوى يجب أن يكون في أكثر من مستويين، فمن المستحيل الحصول على إنقلاب التعداد بإستخدام المستويين فقط وبناءاً على ذلك فإننا سوف نتكلم عن الليزرات ذات المستويات الثلاثة والليزرات ذات المستويات الأربعة إعتماداً على عدد المستويات المستخدمة في الشكل (2-7) في ليزر المستويات الثلاثة شكل (2-7أ) ترفع الذرات بطريقة ما من المستوى الأرضي إلى المستوى (3)وا ذا إنحلت الذرات بعد صعودها إلى المستوى (3) بسرعة إلى المستوى (2) ويمكن الحصول على إنقلاب التعداد بين المستويين E_1 وE_2أما في ليزر المستويات الأربعة شكل (2-7 ب) ترفع الذرات من المستوى الأرضي (E_0) إلى المستوى (3) فإذا إنحلت الذرات بسرعة إلى المستوى (2) فمن الممكن الحصول على إنقلاب التعداد بين المستويين E_1 وE_2 أما أن تبدأ النبذبة في مثل هذا الليزر سوف تنتقل الذرات إلى المستوى (1) نتيجة للإنبعاث المحفز وفي حالة الليزر المستمر فإن فإن من الضروري إذن يكون الإنتقال من المستوى (1)[3].



شكل (2-7): يوضح مخطط ليزر المستويات الثلاثة (أ) وليزر المستويات الأربع (ب)

2-7 أنواع الضخ:

أ) الضخ البصري:

يستخدم مصدراً للموجات الكهرومغناطيسية (مصدر ضوئي) ذات قدرة عالية وهي الطريقة المعتمدة في ليزر الحالة الصلبة وليزر السوائل[6].

ب) الضخ الكهربائي:

إستخدام جهد كهربي خارجي تتضمن إستخدام الطاقة الكهربية في عملية التفريغ الكهربائي في أكثر حالات ليزر الغاز وكذلك يعتمد إستخدام الجهد الكهربي في ليزر أشباه الموصلات [6].

ج) الضخ الكيميائي:

حيث يشكل التفاعل الكيميائي بين مكونات الوسط الفعال أساس توفير الطاقة وتهيج الذرات في عملية الليزر الكيميائي[3].

الفصل الثالث
أنواع الليزرات

3-1 المقدمة:

يأتي الليزر بأنواع مختلفة حسب الإستخدامات ونوع الليزر يأتي من تنوع المادة المستخدمة لإنتاجه فهناك من المواد الصلبة والسائلة والغازية، ويعتبر نوع المادة الأكثر إستخداماً للتمييز بين الأنواع المختلفة ويسمى الليزر من خلال المادة المستخدمة فمثلاً ليزر الهيليوم رنيون يعني أن المادة المستخدمة هي خليط من الهيليوم والنيون وليزر الياقوت يعني أن المادة المنتجة لليزر هي الياقوت وهكذا لباقي الأنواع الأخرى وتعكس بعض الأمثلة لأنواع الليزر[2].

3-2 ليزر الحالة الصلبة:

في الغالب من ليزرات الحالة الصلبة تكون المادة الفعالة عبارة عن مادة عازلة بلورية أو زجاج مضاف إليه نسبة ضئيلة من الشوائب وأكثر هذه البلورات شيوعاً بلورة الياقوت الأحمر، وهي عبارة عن أكسيد الألمونيوم مضاف إليه 0.05% من أيونات الكروم الثلاثية ($AL_2O_3:Cr_3^+$) وهذه النسبة الضئيلة من أيونات الكروم هي التي توفر المناسيب شبه المستقرة للطاقة وبالتالي تقدم الظروف المناسبة لحدوث الإنقلاب السكاني وما يتبعه من إنبعاث محفز للضوء.

من البلورات المستخدمة لإنتاج الليزر أيضاً بلورة الجرانيت ألمونيوم_ إنتريوم المطعمة بأيونات معدن النيودنيوم الثلاثية ورمزها الكيميائي ($y_3AL_5O_{12:}Nd^{+3}$) وتسمى إختصاراً بليزر نيوديوم_ ياج $Nd_3:YAG$وهنالك أنواع متماثلة من الليزرات من النيودنيوم_ زجاج Nd_3 GLASS:وفيه يستخدم أنواع مختلفة من الزجاج مثل زجاج الوريت الذي يحتوى على أكسيد البورون وزجاج فوسفات الرصاص وزجاج السليكا.

ويمتاز ليزر النيودنيوم_ زجاج برخص ثمنه ومقاومة مادته الفعالة للكسر والأضرار الميكانيكية نتيجة لخلو الزجاج من الإجهادات والإنفعالات الداخلية. ومن الليزرات التي تستخدم فيها أنواع جديدة من المواد ليزر الالكسندرايت وليزر فلوريد الكالسيوم المضاف إليه أيونات اليورانيوم[2].

3-3 ليزر الحالة السائلة:

وفيه تكون المادة الفعالة عبارة عن سائل أو صبغات عضوية أو سوائل تم تحضيرها مع إضافة أيونات بعض العناصر الأرضية النادرة مثل أيونات النيودنيوم أو الأربيوم وتنقسم هذه السوائل إلى قسمين:

- سوائل عضوية معدنية (شيلات).
- سوائل غير عضوية (أبروتونيك).

وهناك أنواع أخرى من السوائل المستخدمة كمادة فعالة في الليزر وأهمها الصبغات العضوية المذابة في سائل مثل الماء والإيثانول والميثانول والبنزين والأستون وغيرها. والصبغات عبارة عن مركبات عضوية معقدة تمتاز بوجود شرائح عريضة من مناسيب الطاقة تمتص الأشعة في منطقة كبيرة من أطوال أمواج طيف الضوء المرئي وجزء من طيف الأشعة فوق البنفسجية ويوجد أكثر من مائتي صبغة عضوية يتم إستخدامها في الحصول على أشعة الليزر ذات أطوال موجية تقع في المدى من 0.3 إلى 1.3 ميكرومتر[2].

3-4 ليزر الحالة الغازية:

أ) الذرية:

الليزر الغاذي هو أكثر أنواع الليزر إستخداماً نظراً لقلة تكلفته وأكثر الليزرات الغاذية (الذرية) شيوعاً هو الذي تتكون مادته الفعالة من خليط من غاز الهيليوم_ نيون بنسبة 1 إلى 10 ويقع شعاع الليزر الصادر من هذا الخليط في المنطقة الحمراء من الضوء المرئي وتوجد أنواع أخرى من الليزرات تستخدم خليط من الهيليوم والسيزيوم (He: Sc) ومن الهيليوم والكادميوم (He: Cd) ويقع إشعاعها في المنطقة الزرقاء من الطيف المرئي[2].

ب) الأيونية:

تتضمن هذه الأجهزة أنواعاً متعددة من الليزر تكون مادته الفعالة غازاً أحادي التأين يتولد في البلازما الساخنة الناتجة من أحداث تفريغ كهربائي من الذرات المتعادلة لهذا الغاز النقي. ونتيجة للتفريغ الكهربائي تتكون الذرات أحادية التأين في مناسيب مثارة عالية وما تلبث هذه الذرات أن تعود إدراجها إلى المناسيب المنخفضة مطلقة أشعة ليزرية وأهم هذه الأنواع ليزر الآرجون أحادي التأين

Ar^+ الذي يصدر شعاعين ليزر شديدين إحداهما في منطقة الضوء الأخضر والأخذ في منطقة الضوء الأزرق ويليه في الأهمية ليزر الكربتون أحادي التأين Kr^+الذي ينبعث بأشعة الليزر في المنطقة الحمراء[2].

ج) الجزئية:

ليزر ثاني أكسيد الكربون هو أشهر هذه الأنواع بسبب إستخدامة المتعددة في الصناعة والطب وفي توليد الطاقة. والمادة الفعالة في هذا الليزر هي جزيئات ثاني أكسيد الكربون وتنتج أشعة الليزر من إنتقالات الإلكترونات من المناسيب المتذبذبة في الجزيئات ويقع الطول الموجي لليزر ثاني أكسيد الكربون في منطقة الأشعة تحت الحمر اء غير المرئية ويختلف النتروجين أو الهيدروجين الجزئي عن ليزر ثاني أكسيد الكربون ففي الحالة الأولى تنتج أشعة الليزر من إنتقالات الالكترونات بين المناسيب الإلكترونية في جزئي النتروجين أو الهيدروجين وليس بين المناسيب المتذبذبة كما في حالة ثاني أكسيد الكربون ويقع الطول الموجي لليزر النتروجين أو الهيدروجين الجزئي في منطقة الأشعة الفوق البنفسجية ومن الأجهزة الحديثة لإنتاج هذا النوع من الليزر جهاز ليزر الاكسيمر وتسمية (اكسيمر) أخذت من نظرية خطأ تتضمنت أن الجزئي المتأثر يتكون من مركبتين متماثلتين أي أنه (excited dimmer) والحقيقة أن جزئي الاكسيمر يتكون من ذرة غاز خامل (نادر) متحدة مع ذرة هالوجين ويكون الجزئي في حالة مثارة ثم لا يلبث أن ينقسم بعد إنبعاثه لأشعة الليزر وعودة الجزيئ إلى المستوى الأرضي ومن أمثلة الاكسيمر (ليزر فلوريد الأرجون) ليزر فلوريد الكربتون وكلوريد الارجون وبروميد الاكسينيون ويتراوح الطول الموجي لأشعة ليزر الاكسيمر من 19300 نانومتر في حالة فلوريد الارجون إلى 3510 نانوميتر في حالة فلوريد الاكسينيون[2].

3-5 ليزر الحالة الكيميائية:

وفيه يتم إطلاق الطاقة الكيميائية المحذوفة من بعض المواد عن طريق التفاعلات الكيميائية وتحويلها إلى طاقة ضوئية في صورة أشعة الليزر، وأكثر هذه المواد إستخداماً الهيدروجين والفلوريد، فإذا حدث تفاعل بين ذرة فلوريدFوهيدروجين H_2 ينتج جزئي فلوريد الهيدروجين HF في منسوب مثار وتنطلق طاقة طبقاً للمعادلة الآتية:

$$2F + 2H_2 \longrightarrow 2HF + H_2 + \text{energy} \qquad (1\text{-}3)$$

وعندما تتكون جزئيات فلوريد الهيليوم HF تكون في مناسيب (الطاقة) تذبذبية عالية سرعان ما تهبط إلى المنسوب الأرضي وتنبعث منها أشعة ليزر طولها الموجي يتراوح من 2500 إلى 3400 نانومتر وقد تمكن العلماء من تحفيز مواد أخرى تطلق أشعة ليزر طبقاً للمعادلات الآتية:

$$2F + 2D_2 \longrightarrow 2DF + D_2 + \text{energy} \qquad (2\text{-}3)$$

$$2H + 2CL \longrightarrow 2HCL + CL_2 + \text{energy} \qquad (3\text{-}3)$$

$$2CL_2 + 2HI \longrightarrow 2HCL + I + \text{energy} \qquad (4\text{-}3)$$

وتمتاز هذه المواد بقدرتها على إنتاج طاقة ضوئية عالية ناتجة من الطاقة الكيميائية المختزنة دون الحاجة لفتح طاقة كهربائية أو ضوئية[2].

3-6 ليزر البلازما:

المادة في أطوارها الثلاثة المعتادة تتكون من ذرات متعادلة كهربياً والذرات تتكون بدروها من إلكترونات وأنوية ترتبط بعضها بقوة تجاذب كهروستانيكي وا ذا ضخت كمية كافية من الطاقة في المادة مثل (إحداث تفريغ كهربي بها) فإن الإلكترونات السالبة الشحنة تتحرر من إثارة الذرة مخلفة وراها أيونات موجبة. وتتكون حالة من المادة تكون فيها الإلكترونات السالبة الشحنة والأيونات الموجبة الشحنة حرة ومتلاطمة بتصادم بعضها ببعض وتسمى هذه الحالة بالحالة الرابعة للمادة أو البلازما. وهذه الحالة ذات عمر قصير جداً، إذ لا تلبث الأيونات أن تتحرر بالإلكترونات مكونة ذرات متعادلة كهربياً وتنطلق طاقة تسبب رفع الإلكترونات إلى مناسيب عليا في الذرات، ويقل عددها في المناسيب الأرضية اي يحدث إنقلاب سكاني مما يؤدي إلى النهاية لإنبعاث أشعة ليزر[2].

3-7 ليزر أشباه الموصلات:

يعد ليزر أشباه الموصلات من أحدث أنواع الليزرات، إذ إكتشف منذ حوالي خمسة عشر عاماً فقط، هذا النوع من الليزر أهمية خاصة حيث يستخدم في الإتصالات وفي الحسابات الرقمية

والأجهزة الإلكترونية الضوئية المعقدة وهذا النوع تتم فيه عملية الضخ وعادة بتحضير شبه الموصل على شكل صمام ثنائي (دايود) وتكون المنطقتان من النوع (p- type) و (N- type) ذات إنحلال عالي أي أنها مطعمة بتركيز عالي ومن ومن الواضح في هذه الحالة يحدث إنقلاب لتعداد في منطقة الإتصال.

أن طيف مستويات الطاقة يتكون من منطقة واسعة جداً هي نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل مفصول إحداهما عن الآخر بمنطقة محظورة من الطاقات يتكون كل في الواقع من عدد كبير في حالات الطاقة المتقاربة جداً [2].

الفصل الرابع
تطبيقات الليزر الصناعية

4-1 المقدمة:

توجد حالياً أنواعاً وأحجام مختلفة من الليزرات منها الكبيرة لدرجة إنها تملأ ملعب كرة القدم وأخرى صغيرة تصل إلى حجم رأس الدبوس. وكما أسلفنا فإن ضوءها يغطى مناطق كثيرة من المنطقة المرئية إلى فوق البنفسجية وتحت الحمراء والمرئية منها بألوان متعددة تشمل كل ألوان قوس قزح.

إن بعض هذه الليزرات بقدر نبضها بواحد من البليون من الثانية وأخرى تبقى مستمرة لسنوات وبعض الليزرات يمكن أن تركز الضوء في نقطة صغيرة كافية لتبخير الحديد أو أي مادة أرضية أخرى. وتعتبر الطاقة المركزة فيها أسرع وأشد مليون مرة من الإنفجار النووي والأخرى لا تبعث من الطاقة ما يمكن من سلق بيضة.

ولقد وجدت الطباعة بأن الليزر تقنية مفيدة في نقل الصور والخرائط إلى أكلاسشيهاتها.

ويكشف الليزر في الأعمال الأمنية لاسرار مجهولة حتى بعد مرور 40 سنة من حدوثها من خلال آثار البصمات كما أنه لحم القطع المعدنية في صناعة السيارات وكذلك فإن الهلوكرام في التصوير بأشعة الليزر تعطي صورة مجسمة بثلاثة أبعاد لم تر العين مثيلاً لها.

وبواسطة الألياف الزجاجية التي تنقل أشعة الليزر يمكن نقل المئات من الإتصالات التليفونية كما أن الليزر يقتفي آثار الغازات البركانية ويقيس الرياح المصاحبة والمحيطة للزوابع المختلفة[7].

4-2 أمثلة على التطبيقات الصناعية:

4-2-1 الصناعات الكهربائية:

البقعة الفائقة الشدة في حرارتها والمتكونة من تركيز طاقة الليزر تستعمل في صناعة الدوائر والأجهزة الإلكترونية الدقيقة. وكمثال على ذلك من الممكن لحام (إذابة وصهر) نهايتي سلكين منفصلين صغيرين بعد وضعهما داخل أنبوب زجاجي مغلق وبدون الحاجة إلى إخراجهما من الأنبوب الزجاجي، حيث أن شعاع الليزر ينفذ من الزجاج وبدون التأثير عليه، بينما يمتص من قبل نهايتي السلكين ويصهرهما مع بعضهما[7].

4-2-2 عصر الفضاء:

إن تطور الليزر كان ولا يزال سريعاً ولهذا دخل في تطبيقات متنوعة وفي فترة زمنية وجيزة، وحيث أن الإستفادة من إتجاهيتة وقدرته وضعه في موضع إهتمام في الإتصالات الفضائية لدراسة الكواكب والنجوم في هذا الكوكب الفسيح والتي تبعد عنا بمسافات هائلة وذلك ببناء بعض التلسكوبات الكبيرة في أكثر من مكان لإرسال الموجات الليزرية وا ٍستقبال إنعكاساتها من المجرات والأجرام السماوية الكثيرة في دراسة لجوها ولأخذ معلومات عنها[7].

4-2-3 التفاعلات النووية:

تمثل التفاعلات النووية إحدى مصادر الطاقة المهمة في التزويد بالطاقة الحرارية والكهربائية وكما هو معروف يستخدم في هذه المفاعلات عناصر أصبحت نادرة وباهظة الثمن مثل اليورانيوم وفي طريقها إلى النضوب، إلا أن مركبات اليورانيوم مثل فلوريد اليورانيوم موجود ويتطلب لإستخدامها فصل اليورانيوم عن الفلوريد والطرق المعروفة حالياً باهظة الثمن والتكاليف.

والليزر بقدرته العالية والسيطرة على إختيار ترددة أو طول موجة يعطي فتحاً جديداً في مجال العلوم النووية لفصل النظائر المشعة والأبحاث في أكثر من مختبر في العالم سارية بكل جدية في فصل الفلوريد عن اليورانيوم وكذلك في التفاعلات الإندماجية النووية الذرية وفي مجالات أخرى لا تقل أهمية، ولشدة قدرة الليزر يستخدم اليوم في البدء بالتفاعلات النووية المتسلسلة وبذلك تقصف النوويات من عدة إتجاهات بعدد من أجهزة الليزر الفائقة القدرة ويتم إندماج ذرتان خفيفتان مع بعضهما لتكوين ذرة واحدة ثقيلة ولكن كتلتها لا تساوي المجموع الجبري لكتلتي الذرتين المندمجتين حيث يبقى باقي في الكتلة يتحول إلى طاقة ذرية يمكن أن تؤدي إلى إنفجار كبير أو تحويلها إلى الأنواع الأخرى من الطاقة للإستعمالات السلمية مثل الطاقة الكهربائية أو الطاقة الحرارية[7].

4-2-4 المدى والتلوث:

إستخدمت إلى حد قريب أجهزة الرادار (radar) كوسيلة للكشف عن الأجسام القريبة وتعيين مواقعها، وهذا الجهاز من الحرب العالمية الثانية وحتى اليوم وضع في تطبيقات سواء كانت عسكرية أو صناعية عديدة واليوم ينظر إلى أشعة الليزر كبديل واسع وقوي، والجهاز المستخدم يعرف بإسم اللايدر (Lidar) حيث يمكن بأجهزة اللايدر والكايدولايت (lider geo dolite) تصوير المعمورة من

الجو وإعطاء أدق التفاصيلعلى خطوط بيانية وإذا أضيف له الكمبيوتر إستطاع رسم ومسح أعقد التفاصيل والتضاريس الطبيعية وأمكن قياس المسافة بين الأرض والقمر بدقة عالية بإستخدام العاكس التراجعي (laser retro reflector) الذي وضع على سطح القمر ووجد أن خطأ القياس كان قليل جداً بالمقارنة بالطرق التقليدية المتبعة سابقاً، علماً بأن ضوء الليزر يأخذ زمن قدره ثانيتين ونصف ذهاباً وإياباً من الأرض إلى القمر كما أستخدم الصدى النبضي لليزر (pulse echo laser) في دراسة وقياس التلوث الجوي في المدن الصناعية التي تكثر بها المداخن المختلفة من بقايا المحروقات النفطية أو الفحم الحجري، وكذلك يمكن مساعدة الطيارين في الكشف عن الأحوال الجوية إذا كانت ملائمة وآمنة للإقلاع والهبوط في المطارات. إن عدم تأثر الموجات الليزرية بالترددات الراديوية والتي تنتج عنها تداخلات راديوية كثيرة جعل هذا التطبيق ذو حاجة بالغة في الكشف عن الزوابع الترابية والرملية والتغيرات الجوية المعيقة لحركة الطيران[7].

4-2-5 نسخ المعلومات:

يستطيع الليزر التعرف على الرموز المختلفة سواء كانت كتابات معينة أو رموز تجارية أو مصطلحات مخفية، حيث أن شعاعه الدقيق يمكن أن يتحرك حول الرموز ويمكن كشف الحزم المنعكسة منها أو النافذة بأجهزة خاصة لتعطي صورة دقيقة عن ماهية هذه المعلومات وبالإضافة إلى ذلك فإن الليزر يمكن إستخدامه في الكتابة على شريط من مادة معينة حساسة لطوله الموجي مثل الورق الفضي الجاف وبالإضافة إلى ذلك يوجد اليوم جهاز الفيديو القرصي الذي يستخدم جهاز الليزر في تسجيل أو نقل المعلومات الضوئية والصوتية في قرص دائري بدلاً من أشرطة الفيديو ومن الأعمال الأخرى نقل المعلومات من أجهزة المراصد الفلكية ونقل وصف خطوط المطابع الورقية والتسجيل التلفزيوني[7].

4-2-6 الصناعات الإلكترونية الدقيقة:

يدخل الليزر في صناعة المقاومات الإلكترونية المختلفة من تقليم وتقصي دقيق لأبعادها إما يدوياً أو آلياً وبذلك يعطي حجم وقيمة كهربائية للمقاومة دقيقة جداً، بالإضافة إلى الحفر في المواد المختلفة لتكوين المتسعات (capacitors) المتناهية الصغر، وكذلك يدخل في لحم ووضع العديد

من الدوائر الإلكترونية الصغيرة الحجم والدقيقة المستخدمة في الأجهزة الإلكترونية المختلفة. فهو آلة قطع وتشذيب حادة ودقيقة جداً وآلة صهر ولحام عالية الكفاءة[7].

4-2-7 السباكة:

الشدة الحرارية لليزر وخصوصاً بعد تركيزه وصغر مقطعه وسهولة السيطرة عليه يجعله مهماً في عالم السباكة ومعاملة المواد، حيث أنه قادر على إذابة وتبخير المعادن من ثقبها إلى حفرها ومن قطعها إلى لحامها مع بعضها، كما يمكن أن تتم بهذه الأشعة بمجهود قليل وبدقة عالية، كونه لا يحتاج إلى ضغط ميكانيكي في عمله. وقد أثبتت بإستخدام الليزر النبضي بطاقة 20 جول في النبضة الواحدة إمكانية تبخير المادة بدلاً من إذابتها و5 جول من النبضات المستمرة قادرة على الثقب وا ستعماله كمثقاب ويمكن عمل ثقوب قدرها بحدود 1000/1 من السنتميتر وحتى المواد المستحيلة الثقب يمكن ثقبها بهذه الطريقة، وحيث تصل قدرته إلى حدود درجات ذوبان هذه المواد وبإضافة مايكروسكوب معه يستطيع الحصول على ثقوب متناهية في الصغر وسرعة الثقب تصل إلى خمسة آلاف من الثانية وتصل قدرته في القطع واللحام من 250 إلى 900 سنتمتر في الثانية الواحدة أو أكثر[7].

4-2-8 علم الفلك:

من المعروف أن التشتت والتفريق الصغير جداً لخدمة الليزر يطور ويحسن القياسات للمسافات بين النجوم وحركتها، خصوصاً كون أحد أنواع الليزرات يمتلك طول موجي معين له القدرة على النفاذ من الجو الأرضي إلى الفضاء الفسيح وبأقل إمتصاص من مكونات الجو الأرضي ولهذه الصفة أهمية في الإتصالات الفضائية[7].

4-2-9 علم طبقات الأرض:

قدرة الليزر على إختراق الصخور لأعماق طويلة عن طريق تبخير مكوناتها، هذا البخار المتصاعد يوجه في نفس خط الحفر إلى جهاز مطياف لمعرفة مكونات الصخور من العناصر المختلفة والنسبة المئوية لتواجدها، والميكانيكية الرئيسية في إستعمال الليزر لمعاملة المواد هي العملية الشنائية في الإذابة والتبخير. تصرف الطاقة الشعاعية الساقطة على سطوح المواد بتركيز حزمة الليزر بأربع طرق:

أ) جزء من الطاقة يعكس ويفقد.

ب) تستعمل أكثر الطاقة المتبقية لذوبان المعادن.

ت) يستخدم جزء صغير نسبياً من الطاقة لتبخير السوائل المعدنية.

ث) يوصل الجزء الأصغر من الطاقة إلى المعادن غير الذائبة على شكل حرارة.

ويمكن إستخدام الليزر في المناجم للتعرف على مكونات الصخور من المعادن المختلفة وكذلك يمكن الإستفادة منه في حفر الآبار البترولية والكشف عن كميات ومعدلات وجود البترول والمواد الأخرى المصاحبة لها، وأعماقها الأرضية ونوعية طبقات التربة[7].

4-2-10- إحداث الثقوب بالليزر:

يعد رفع كل من إنتاجية إحداث الثقوب التي يصل عمقها إلى *10mm* وقطرها *1mm*(وأكثر من ذلك) ودقة إعدادها مشكلة أساسية في الكثير من قطاعات بناء الآلات وبناء الاجهزة.

ويرتبط إحداث مثل هذه الثقوب بواسطة طرائق التثقيب والطرق التقليدية بصعوبات معينة وذلك بسبب القيام بالتبديل المتكرر لأداة الثقوب وندرة توافر أدوات التثقيب ذات الأقطار الصغيرة وصعوبة إعداد هذه الأدوات وتزداد هذه المشكلة تعقيداً عندما يراد إحداث ثقوب في مواد يصعب تشغيلها أو عندما تكون هذه الثقوب موضوعة في سطح منحني أو يميل على محور أداة التثقيب.

أما عند إستخدام الإشعاع الليزري تقنياً في إحداث الثقوب فإن سرعة نزع المادة تساوي *1mm/s*ولهذا فإن أكثر طرائق إحداث الثقوب إنتاجية هي طريقة الإحداث بالليزر إلا أن هذه الطريقة تستهلك طاقة كبيرة وتكمن المزايا التي يتمتع بها مصادر الإشعاع الليزري عند إحداث الثقوب في المواد فيما يلي:

- مقدرة هذه المصادر على إحداث التركيز البؤري ضمن بقعة بؤرية صغيرة الأبعاد.
- إجراء التشغيل اللازم للقطع دون أن يحدث تلامس بين هذه المصادر والقطع المراد تشغيلها.
- إمكانية إختيار موجة شعاع ليزري تتمتع بمزايا مثالية لإمتصاص الإشعاع من قبل المادة.
- إمكانية إختيار زمن النبضة الذي يضمن التحكم بعميلة إحداث الثقب وفقاً للعمق المطلوب.
- تكون منطقة التسخين غير كبيرة.
- التحكم بالوضع الفراغي للثقب.

- إمكان إستخدام الحاسب الإلكتروني في برمجة العمليات اللازمة [8].

الـفـصل الـخـامـس
الـلـحـام

1-5 المقدمة:

يستخدم جهاز الليزر في لحام جسمين متجانسين أو متباينين مثل لحام المعادن على الزجاج وتشكيل اللحام فإنه يجب إمتصاص طاقة كافية لإنصهار ودمج القطعتين معاً . ولذلك يستخدم من أجل هذا الغرض ليزر مستمر ويكون اللحام بالليزر على شكل نقاط صغيرة يحدثها الشعاع في أماكن محددة وليزر Co_2يستخدم في لحام البلاستيك، أما الليزرات المستمرة Nd:YAG تستخدم من أجل اللحام الذري وذلك لأن إمتصاصية المواد للإشعاع تكون من أجل الأطوال الموجية (1.06 nm)(Nd:YAG)أكبر مما هي عليه في حالة الأطوال الموجية (10.6 nm) (ليزر Co_2). [9]

2-5 اللحام:

هو عبارة عن عملية للحصول على وصلة غير قابلة للفك من خلال التسخين الموضعي لأطراف الأجزاء الموصلة وهو عبارة عن وصل دائم للأجزاء المعدنية بإستخدام الحرارة أو بإستخدام الضغط والحرارة معاً .

ولكي تكون الوصلة بين الجزئين المراد لحمهما من الموصلات الجيدة فلابد أن يكون هناك تقارب بين ذرات الجزئين المراد وصلهما حتى تتكون بلورات معدنية ومشتركة تحقق ذلك الوصل والإرتباط المثالي.

ومن خلال التسخين تتباعد الجزيئات عن بعضها البعض وتنخفض قوة الجذب فيها وبإزدياد التسخين تتباعد الجزيئات عن بعضها أكثر وتنخفض بالتالي قوة تماسكها وترابطها ويكون من السهل أن يتحرك إلى جسم آخر خلالهما ويسهل بذلك مزجها مع مادة متعجة أخرى من نفس التركيب عن طريق إستخدام معدن إضافي أو بدونه وعند تجمد منطقة الوصل يصير هذا المخلوط المتجانس من المادتين كتلة واحدة متماسكة وعلى ذلك يمكن تفسير هذه العملية عملية اللحام بأنها وصل دائم للمعادن بإستخدام الحرارة أو الضغط معاً والغرض من اللحام الحصول على وصلات قوية دائمة وغير قابلة للفك وأيضاً غير قابلة للتسريب كما تعطي نفس خواص المعدن الأساسي [9].

1-2-5 مميزات اللحام:

- تحقيق وفرة كبيرة في المعدن.
- تخفيض الأوزان.

- سهولة التصنيع والتجميع.
- الإقتصاد في الأيدي العاملة.
- الإقتصاد في زمن التشغيل[9].

2-2-5 أنواع اللحام:

أ. اللحام على البارد:

إذا أردنا وصل قطعتين من المعدن باللحام على البارد أي دون أي تسخين نجد أن ذلك ممكناً طالما كانت لدينا فترة كافية لإرغام الذرات السطحية للقطعة الأولى على الإقتراب من الذرات السطحية للقطعة الثانية بحيث يصل البعد بين هذه الذرات مساوياً للبعد الذري للجزئيات وبلورات المعدن داخل القطعة قوة حفظ مثلاً ولا توجد في الحقيقة حدود تحد إستخدام اللحام بالضغط على البارد إلا أنه يجب أن يتميز المعدن المطلوب وصلة بلدونة عالية ليقاوم الإنخفاض في سمكة بسبب الإنفعال العنيف الذي يمارسه أثناء اللحام بالضغط على البارد وأن تكون القوى اللازمة لإنجاز عمليات اللحام بهذه الطريقة ممكنة ويحد من إستخدام هذه الطريقة مشكلات إختيار المواد المناسبة لسبائك الضغط والمعدات المساعدة[9].

ب. اللحام الذاتي:

هو الطريقة التي بمقتضاها توصل قطعتان من معدن واحد بواسطة صهر حافتيها ويستعان في ذلك سلك لحام إضافي من نفس المعدن المراد لحامه والغرض من هذا اللحام فيها نفس خواص المعدن اللحوم من حيث الخواص الكيميائية والميكانيكية وقد ظل مفهوم اللحام الذاتي لفترة طويلة قاصراً على اللحام بالأكس استلين[9].

ج. اللحام غير الذاتي:

تختلف طريقة هذا اللحام عن طريقة اللحام الذاتي في أن الحواف المراد لحمها لا تصهر بل تسخن فقط وأن سلك اللحام المساعد يكون من معدن آخر يختلف عن المعدن المراد لحامه كما أن درجة حرارة إنصهاره أقل من درجة حرارة إنصهار المعدن. وتستخدم هذه الطريقة في لحام المعادن التي تغير خواصها وتتلف إذا تعرضت لدرجات حرارة عالية أثناء اللحام مثل اللحام بالقصدير[9].

د. لحام الصهر:

يحتاج هذا النوع من اللحام إلى طاقة كبيرة للتغلب على تماسك ذرات طرفي الوصلة حتى يمكن لها التداخل للأجزاء المراد لحامها مع بعضها البعض بحيث تحقيق الوصول الذري وتكون هذه الطاقة الحرارية من أي مصدر كهربائي أو ضوئي أو كيميائي[9].

هـ. لحام الصهر بمصدر حراري كيميائي:

يتم في هذه الطريقة لحام وتوليد الحرارة اللازمة لصهر طرق الوصلة من تفاعل كيميائي طارد للحرارة ويتم ذلك بين وقود هيدروكربوني جامد أو سائل أو غازي أو أكسجين منفرد ويمتاز في هذا المجال أنواع الوقود التي تعطي مقداراً كبيراً من الحرارة في زمن قصير معدل تولد مرتفع للحرارة لتسير تركيز الحرارة عن طرفي الوصلة قبل تسربها قابلية للتوصيل الحراري المرتفع للمعادن[9].

3-2-5 اللحام بالطرق التقليدية:

أ. اللحام الكهربائي بالتماس:

ويتم أثناءه تسخين أجزاء المعدن المراد توصيلها بالتيار الكهربائي الذي يمر خلال المعدن الملحوم مباشرة. فتتولد في مكان التماس كمية كبيرة من الحرارة التي تصل المعدن إلى حالة إنصهار ثم تضغط الأجزاء الملحومة وبهذا تتم عملية اللحام وهناك عدة أنواع للحام بالتماس:

أ. اللحام التناكي (طرف على طرف).

ب. اللحام النقطي.

ت. اللحام بالوصلة[9].

ب. اللحام الغاذي بالضغط:

ويتم تسخين أجزاء المعدن المراد لحامه بهلب مشعل ثم يتم اللحام نتيجة لضغط أجزاء المعدن المسخن في حالة اللدونة[9].

ث. اللحام بالإحتكاك:

يتم بواسطة الحرارة الناتجة عن إحتكاك الأسطح المراد لحامها ببعضها البعض ثم تضغط هذه الأسطح.

د. اللحام على البارد بالضغط:

هذه الطريقة مبنية على أساس تقارب جزيئات المعدن عند التشويه اللدان الشديد للأجزاء الملحومة ويمكن بهذه الطريقة لحام المعادن العالية اللدونة كالنحاس والألمونيوم[9] .

هـ. اللحام بالقوس الكهربائي:

يجرى اللحام بالقوس الكهربائي بتيار كهربي متغير أو مستمر ويستعمل اللحام بالقوس الكهربائي أقطاب:

- كربونية فقط
- كربونية جرافيت معدنية.
- معدنية فقط.

وتصل درجة حرارة اللحام بالقوس الكهربائي نحو 6000m حيث يكون التسخين مركزاً فينصهر المعدن ويلتحم عند تبريده:

- دون تأثير قوة خارجية.
- بتاثير قوة خارجية.
- بتاثير قوة خارجية ضئيلة [10].

و. اللحام الغازي:

ويتم تسخين المعدن في مكان اللحام من الإنصهار بالشعلة المتولدة عن إحتراق غاز الإحتراق (الاستيلية، الهيدروجين وغيرها) في وجود الأكسجين وتستعمل هذه الطريقة للحام الصفائح الرقيقة والمصنوعات من المعادن غير الحديدية (الخفيفة) ولتصليح المصنوعات المسبوكة من الزهر أو الألمونيوم[9].

ع. اللحام فوق الصوتي:

فيتم توصيل المعادن بطاقة الذبذبات فوق الصوتية المنقولة إلى أماكن التماس في المصنوعات المراد لحامها. ويحصل على الذبذبات فوق الصوتية (والتي تفوق 20 ألف سيكل دورة في الثانية) من مولدات خاصة تتراوح قدرتها بين 3 و10 كيلوواط.

ولا يمكن الإستعاضة عن طريقة اللحام فوق الصوتي عند لحام المصنوعات صغيرة السلك (1 حتى 5 ملم)[9].

4-2-5 اللحام بالليزر:

تتم عملية اللحام في أبسط صورها بين قطعتين معدنيتين في حالة تلامس عند تسليط شعاع الليزر على الخط الفاصل بينهما فتنصهر منطقة التلامس للقطعتين وتندمجان سوية.

يتطلب عند اللحام تزويد الحرارة بالمقدار اللازم فتكون كافية لصهر كمية مناسبة من المادة وتحقيق لحام جديد ولا يجوز تجاوزها لتلافي تبخر المعدن الذي يؤدي عادة إلى لحام ردي. بما أن إنعكاسية أغلب المعادن تتناقص عند درجة الإنصهار فإن إحتمالية حدوث حالة التبخر تزداد إذا كان الفرق بين درجتي إنصهار القطعتين كبيراً إذا كانت القطعتان من معدنيين مختلفين[3].

أ. فوائد اللحام بالليزر:

1) إمكانية تحقيق اللحام في مواقع معينة يصعب الوصول إليها بالأدوات الأخرى وبمساحات صغيرة.
2) إمكانية لحام معدنين مختلفين ضمن حدود معقولة لفرق درجة إنصهارهما.

ويستخدم عادة مع عملية اللحام بالليزر غاز خامل مثل الآرجون، الهيليوم يوجه على منطقة اللحام من خلال وحدة تركيز شعاع الليزر وا إستخدام الغاز الخامل يمنع تأكسد منطقة اللحام ويساعد على إزالة بخار المادة وبالتالي الحصول على لحام جيد وحماية العدسة اللامة من البخار المتكثف.

ومن المحاذير التي قد تنجم عن وجود البخار المعدني بين الشعاع والعينية عندما تكون قدرة الليزر عالية أن الحرارة الناتجة عن السطح تستطيع أن تؤين البخار وتحوله إلى بلازما ويكون تأثير البلازما إمتصاص شعاع الليزر أو حجة عن السطح المعدن [3].

وتستخدم الليزرات النبضية أو المستمرة في عملية اللحام حيث يوظف الأول بإنجاز لحام في بقع صغيرة والثاني في لحام مسافات معينة بين قطعتين أو أكثر بواسطة حركة الشعاع أو العينة بسرعة معينة تحددها قدرة الشعاع وعمق اللحام المطلوب. وبصورة عامة يفضل تثبيت القطعتين المعدنيتين ووضعهما في حالة تلامس لمنع تطاير المادة المنصهرة الضرورية لتكوين لحام جيد [3].

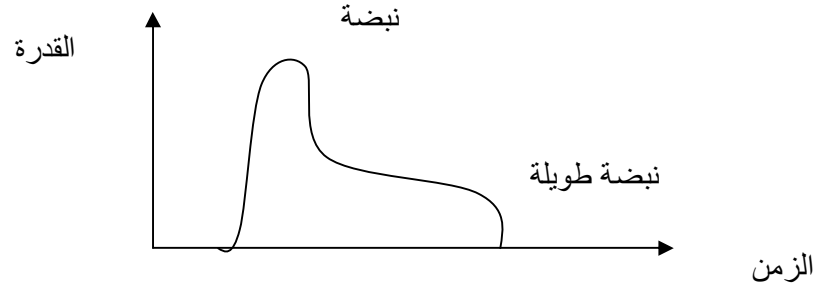
ب. اللحام الدقيق:

تعتبر قابلية تركيز الحزمة الإشعاعية لليزر في مساحات صغيرة جداً لا يتعدي قطرها بضع مايكرونات وسهولة توجيه شعاع الليزر والسيطرة عليه هو المحفز الرئيسي لإستخدام الليزر في لحام أجزاء متناهية في الصغر كما في الدوائر المتكاملة حيث تكمن الفائدة في لحام أسلاك التوصيل لأنها توفر إمكانية حساب كمية الحرارة اللازمة للمسافة المطلوبة وبذلك يمكن تلافي الأعطال التي تصيب هذه الدوائر إذا ما تعرضت إلى حرارة أكبر مما تتحمل وغالباً ما تحدث من جراء إستخدام الطرق التقليدية [3].

ج. لحام المعادن:

تعتمد عملية اللحام عند إستخدام ليزر ثاني أكسيد الكربون المستمر أو النبضي ذي القدرة العالية 2-6 كيلوواط لأن المسألة تتجاوز مجرد إنتشار بسيط للحرارة من السطح إلى العمق للمادة. فالقدرة العالية تعمل على تبخير مقدار كبير من المعدن مكونة حفراً صغير تنفذ من خلالها طاقة شعاع الليزر فتدخل خلال هذه الحفرة إلى مناطق أعمق وأعمق داخل المادة حتى تكون ثقباً ينفذ إلى السطح السفلي للعينة. وتعمل حركة شعاع الليزر عند الخط الفاصل بين النقطتين على صهر المادة بإتجاه حركة الشعاع لتملأ الفراغ الذي خلفها بالمادة المنصهرة وهكذا حتى تتم عملية لحام القطعتين كلياً [3].

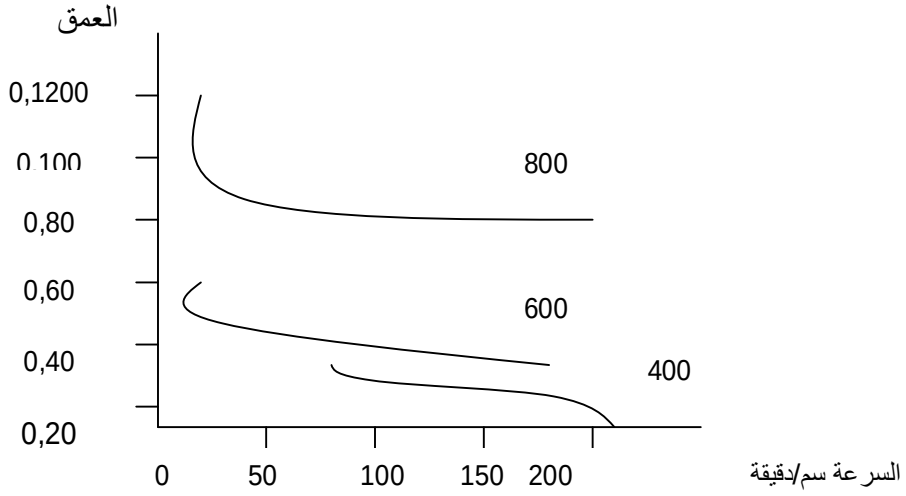
وتعتمد عملية اللحام بالنسبة لليزر النبضي على شكل النبضة الموضحة بالشكل (5-1) إذ يفضل أن تكون بهيئة نبضتين متداخلتين الأولى قصيرة حوالي 100 ميكروثانية ولها قدرة عالية تلحقها نبضة أطول ولكن بقدرة أقلوتسبب القدرة العالية للنبضة القصيرة تكو ّن الثقب المطلوب ثم تأتي بعدها النبضة الطويلة لتصهر المادة حول الثقب وتملأه [3].



شكل (5-1) شكل النبضة الليزرية المناسبة لعملية لحام المعادن

د. لحام الدرز (الخطي):

أن الليزر النبضي إذا كان ذا معدل تشغيل عالي التكرار ومعدل قدرة بحدود 100 واط يمكن أن يؤدي عملية اللحام لبعض المواد بينما لا يستطيع ذلك ليزر النمط المستمر الذي يعمل بالقدرة نفسها. إن السبب يكمن في القمم العالية للقدرة التي يتميز بها الليزر النبضي القادر على تحطيم مقاومة السطح المعدني مسببة زيادة في إمتصاص أشعة الليزر من قبل المعدن فتؤدي إلى صهره ولحامه. وعملية اللحام تجري بسرعة كبيرة للألواح السمكية بسبب صعوبات التوصيل الحراري وكذلك لأن عمق اللحام يعتمد على مقدار القدرة المستخدمة خصوصاً عن تثبيت السرعة[3].



شكل (5-2) يوضح عمق اللحام كدالة للسرعة للحديد غير غير الممغنط 304 عند إستخدام ليزر التيدميوم المستمر.

هـ. إنصهار المادة بإستخدام أشعة الليزر:

يعتمد إنصهار المادة عند إستخدام أشعة الليزر على جريان الحرارة داخل المادة الذي يتناسب طردياً مع التوصيلة الحرارية (k) وعكسياً مع الحرارة النوعية للمادة (c) وكثافتها (σ) أي يتناسب مع ($\frac{k}{\sigma c}$) ويمثل هذا المقدار الإنتشارية الحرارية (N) التي تقاس بوحدة م^2/ث والتي تحدد سرعة توصيل المادة للطاقة الحرارية ويمكن تحديد عمق الإختراق لتأين زمن حراري بالعلاقة الآتية:

$$D= (4Nt)^{1/2}$$

Dهي عمق الإختراف.

Nهي الإنتشارية الحرارية.

Tهي طول النبضة اللازمة لعمق إختراق معين[3].

و. فوائد إستخدام منظمة أشعة الليزر:

1. عدم وجود تماس مباشر بين العينة والمنظمومة وبالتالي إستبعاد أي تكون أو جهد ميكانيكي.
2. إن الطاقة الحرارية لأشعة الليزر تنفذ إلى العمق المطلوب بإنتشار عرض صغير جداً .
3. إمكانية إستخدام الليزر في تصنيع المواد المختلفة سواء كانت من معادن فلزية قابلة للي أو سيراميكية قابلة للكسر دون أن تحدث أي تلف.
4. إمكانية الحصول على لحام نقطي أو ثقوب متناهية في الصغر بسب القدرة الكبيرة على تركيز الشعاع في بقعة صغيرة.
5. سرعة إنجاز عمليات اللحام بإستخدام شعاع الليزر.
6. قابلية بعض الليزرات على تجهيز القدرة العالية التي لا يمكن الحصول عليها من أي مصدر آخر[3].

- **مقارنة بين اللحام بالليزر واللحام بالطرق التقليدية:**

1. أن الطاقة الحرارية لأشعة الليزر تنفذ إلى العمق المطلوب بإنتشار عرض صغير جداً والتي لا يمكن الحصول عليها بالطرق التقليدية لعدم نفاذ الطاقة الحرارية للحام إلى جذور الوصلة الذي يؤدي إلى خفض متانة الوصلة كما يمكن أن يؤدي إلى ظهور شقوق في الوصلة.
2. عدم وجود تماس مباشر بين العينة والمنظومة الليزرية وبالتالي لا يحدث تلوث أو أي جهد ميكانيكي على عكس وجود تماس بين المنظومة المستخدمة في اللحام بالطرق التقليدية والعينة وهذا التماس يؤدي إلى تحريك وا ِذاحة الأطراف أثناء التجميع مما يؤدي إلى عدم نفاذ اللحام في الوصلة عند القاعدة.
3. إمكانية الحصول على لحام نقطي أو ثقوب متناهية في الصغر بسبب القدرة الكبيرة على تركيز الشعاع في بقعة صغيرة و التي لا نستطيع الحصول عليها بالطرق التقليدية ولذلك يكون خط اللحام غير منتظم بسبب الإعداد السيء للحواف وسطح اللحام أو إختبار شدة تيار غير مناسبة.

4. قليل الشروخ في الأسطح بعملية اللحام بالليزر مقارنة بالطرق التقليدية تكثر الشروخ في الأسطح والتشويه بسبب معدل التبريد العام أو إستخدام أسلوب لحام غير مناسب.
5. سرعة عملية اللحام بالليزر مقارنة بالطرق التقليدية التي تكون بطيئة بسبب عدم تنظيف الأسطح والحواف من الشحومات والشوائب أو وجود رطوبة [3].

5-3 الخاتمة:

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وبفضل الله وكرمه ومنه علينا تم إكمال هذا البحث الذي تناول فيه الباحث بالدراسة النظرية إستخدام الليزر في عملية اللحام وأنواعه وفوائده وطرق اللحام التقيليدية وطرق اللحام الحديثة (الليزر). وتمت المقارنة بين طرق اللحام الحديثة والتقليدية.

وجد الباحث أن طرق اللحام بالليزر لها فوائد كثيرة منها إمكانية وصول شعاع الليزر إلى مناطق يصعب الوصول بالطرق التقليدية، وأن اللحام بالليزر لا يؤثر على كل العينة بل تقتصر آثاره على منطقة اللحام، وسرعته في عملية الإنتاج مقارنة بالطرق التقليدية.

5-4 التوصيات:

1. يوصي الباحث العامل بهذه المنهة يجب عليه الإلمام التام بفيزياء الليزر حتى تتم له الإستفادة القصوى من مزايا الليزر الهائلة في رفع الإنتاج الصناعي وجودته.
2. لابد من توفير أدوات السلامة الليزرية لحماية العامل من خطورة أشعة الليزر.

المراجع:

[1] أورازو رفتلو،**مبادئ الليزر**، صبيحة شريف عبد الله ود. منعم شكور.

[2] أحمد الناغيرشاد فؤاد السيد**أشعة الليزر وا إستخدامها في الطب.**

[3] خالد عبد الحميد الخطيب،وليد خلف حمودي،**ضوئيات الكم والليزر.**

[4] سي. بريك هتز، 1984م، مفاهيم وتكنولوجيا الليزر، ترجمة صالح نوري صالح.

[5] www.hazemsakeek.com

[6] سهام عقيق قندلا،1992م، **الليزر الأسس الفيزيائية وبعض التطبيقات العملية**، طبعة الأولى.

[7] فاروق بن عبد الله الوطيان، **الليزر وتطبيقاته.**

[8] غريغور يانتسسالفون ،يناير 1993م ، **تقنية الليزر وتقانته معالجة المواد غير المعدنية بالليزر**، محمد غانم، الطبعة الأولى.

[9] واجهة فنرتوب الرئيسية المنتدى الهندسي

www.Fnrtop.com

[10] مصطفى كمال محمد،2001م، **فيزياء المعادن وتكنولوجيا السبائك المعدنية**، الطبعة الأولى.

[11] ويكيبيديا، الموصوعة الحرة.

الـمـلاحـق

اللحام بالطرق التقليديدة

اللحام بالطرق التقليدية

جهاز لحام النحاس بالليزر

جهاز لحام الدوائر المتكاملة (باستخدام لحام البقعة بالليزر)

جهاز لحام الألياف البصرية بالليزر