المجلة العراقية للفيزياء، المجلد (١)، العدد (١)، صفحات١٥-١٨، كانون الأول ٢٠٠٢

دراسة تأثير استخدام المجال الكهربائي على عملية تثقيب سبيكة البراص بالليزر

جيهان ادمون سيمون
الجامعة التكنولوجية / قسم العلوم التطبيقية

الخلاصة:

تضمن البحث، استخدام ليزر Nd-YAG النبضي بأمد نبضة (300μs). بالنمط الكاوسي (TEM_{00}) وبطول موجي (1.06μm) وبطاقات تراوحت ما بين (0.5-3)J لتثقيب سبيكة البراص وهي من المواد المستخدمة في التطبيقات الصناعية. تم إجـراء عملـية التثقـيب باستخدام المجال الكهربائي ونتج عنه زيادة النسبة الباعية للثقب بمقدار (45%) ونقصان مخروطيته بمقدار (25%) عن قيمتها عند التثقيب بالظروف الاعتيادية و استخدام الطاقة نفسها.

Effect of the electric field on drilling Brass by Laser

Abstract :

The research include a pulsed Nd: YAG Laser with (300□s) pulse duration in the TEM_{00} mode at (1.06□m) wavelength for energies between (0.5-3)J was employed to drill Brass material which is use in industrial applications. The process of drill was assisted by an electric field. This resulted in an increase in the hole aspect ratio by the value (45%) and decrease in the hole taper by the value (25%) of its value under ordinary drilling conditions using the same input energy.

المقدمة:

عـندما تسـقط أشعة الليزر على سطح المادة فإن بعضها يـنعكس وبعضـها يمتص والبعض الآخر ينفذ من خلال المـادة. وعـندما تمـر الأشعة خلال الوسط الجديد فأنها تمـتص طبقاً لقوانين الانتشار وفق قانون لامبرت Beer Lambert [1]:

$$I_z = I_\circ \; e^{-\alpha z} \qquad (1)$$

إذ تمثل I_z الشدة الممتصة عند العمق Z ($W.cm^{-2}$)
I_0 الشدة الساقطة على السطح ($W.cm^{-2}$)
α معامل الامتصاص (cm^{-1}) والذي يعتمد على الطول الموجي لشعاع الليزر وعلى مواصفات المعدن.

تـتحول الطاقة الممتصة من قبل المادة إلى طاقة حرارية تنتشـر خلالهـا وبسبب التوصيلية الحرارية للمادة ترتفع درجـة الحـرارة بسرعة لتصل إلى درجة الغليان وصولاً إلى حالة التبخير وبزمن مقداره [2]:

$$t_V = \frac{\pi}{4N}\left(\frac{K(T_V - T_\circ)}{I_\circ}\right)^2 \qquad (2)$$

t_V الزمن اللازم للوصول الى درجة حرارة التبخر (sec)
N الانتشارية الحرارية (cm^2/sec)
K التوصيلية الحرارية ($W/cm.C^0$)
T_V درجة حرارة التبخر C^0
T_0 درجة الحرارة الابتدائية للسطح C^0

قـبل ان يبدأ الغليان لا بد ان يحصل الانصهار ، وبسبب السرعة العالية التي يحصل فيها الغليان فليس هناك الوقت الكافي لحصول المزيد من الانصهار نظراً لان شدة الليزر اكثر من (10^6 $W.cm^{-2}$). بعد ان يصل السطح الى التبخـر فأن الليزر يستمر في ايصال الطاقة الى السطح، وتسـتخدم هـذه الطاقـة في التغلب على الحرارة الكامنة لتبخـر. وعندها يزال المعدن من الهدف بالتبخير ويطرد المنصـهر خـارج الـتجويف والذي يحدث عادة للتكون السريع لضغط الغاز في الفتحة تاركاً وراءه ثقب في سطح المعدن. يمكن حساب عمق الثقب المتولد من العلاقة التالية [3]:

$$d = \frac{E_\circ}{a\rho\left[c(T_V - T_\circ) + L_V\right]} \qquad (3)$$

d عمق الثقب cm
E_0 طاقة الليزر الساقطة على السطح (J)
a المساحة المتأثرة بحزمة الليزر (cm^2)
ρ كثافة المادة (gm/cm^3)
c الحرارة النوعية للمادة ($J/gm.c^0$)
L_V الحرارة الكامنة للتبخر (J/gm)

يتولد الثقب نتيجة لسلسلة من العمليات المتعاقبة التي تحدث بعد امتصاص المادة لشعاع الليزر الساقط ووصول درجة الحرارة الى درجة حرارة التبخر عند السطح وهي [4]:-

1- يتبخر سطح المادة بالجزء الأول من نبضة الليزر.
2- يرتفع الضغط داخل الحفرة المتولدة من إزالة الطبقة السطحية بسبب تمدد البخار.
3- تندفع المادة المنصهرة خارج الثقب.

قام كل من D.C.Hamilton ,I.R.Pashby [5] عام (1979) بدراسة تأثير زمن نبضة الليزر على عملية التثقيب من خلال زيادة عمق الثقب بتغير كثافة القدرة الساقطة لنبضة واحدة وتأثير عدد النبضات في زيادة العمق بطاقات مختلفة وزمن نبضة مختلف ايضا باستخدام ليزر CO_2 . وقد لوحظ تناقص العمق النوعي للثقب المتولد مع زيادة كثافة القدرة، أي عند نقصان زمن النبضة ولعدد من المواد.

كما قام B.S.Yilbas [6] عام (1986) بدراسة المتغيرات التي تؤثر على الشكل الهندسي للثقب. وهذه المتغيرات قسم منها يتعلق بخواص الليزر بينما يتعلق القسم الاخر بخواص المادة نفسها. وقد توصلت الدراسة الى إن تأثير كثافة قدرة الليزر اعتبرت العامل الاهم، إضافة الى تأثير موقع تبؤر اشعة الليزر وكذلك سمك المعدن. بينما استخدم عدد من الباحثين [1,7] تقنية القوس الكهربائي المصاحب لشعاع الليزر والمسلط على منطقة التفاعل ودراسة اثره في زيادة عمق اللحام والتثقيب. وقد اثبت إن وجود القوس على محور شعاع الليزر على الوجه الخلفي للعينة يعطي زيادة اكبر لعمق اللحام وزيادة في سرعة القطع بالاضافة الى قطع عينات بسمك اكبر. وفي عام (1995) قام عدد من الباحثين [4] بدراسة تثقيب المواد بالليزر من خلال استخدام ليزر(Nd-YAG) وكانت الدراسة بأتجاهين:-

الاول:- دراسة تأثير خواص الليزر وخواص المادة على عملية التثقيب

الثاني:- دراسة كفاءة عملية التثقيب وزيادة عمق الثقب وتحسين شكله وكذلك دراسة العيوب السطحية للمواد المثقبة بالليزر.

بينما استفاد عدد من الباحثين عام (1995) [8] من وجود الجسيمات المشحونة الموجودة في البلازما المنتجة بالليزر لازاحتها بتسليط مجال كهربائي مواز لشعاع الليزر الساقط محققا زيادة في عمق الثقب بزيادة طاقة الليزر والجهد المسلط.

اما في مجال بحثنا هذا فقد تم دراسة تاثير استخدام مجال كهربائي باتجاه عمودي على حزمة الليزر الساقطة في عملية التثقيب بالليزر، إذ يعمل المجال على زيادة الطاقة الممتصة من قبل المادة من خلال تقليل التوهين الحاصل لحزمة الليزر والذي يعتمد على درجة حرارة البلازما وكثافة الالكترونات مما نتج عنه تحسين كفاءة عملية التثقيب من خلال زيادة النسبة الباعية ونقصان مخروطية الثقب عند مقارنتها بالطريقة الاعتيادية وبدون استخدام المجال الكهربائي.

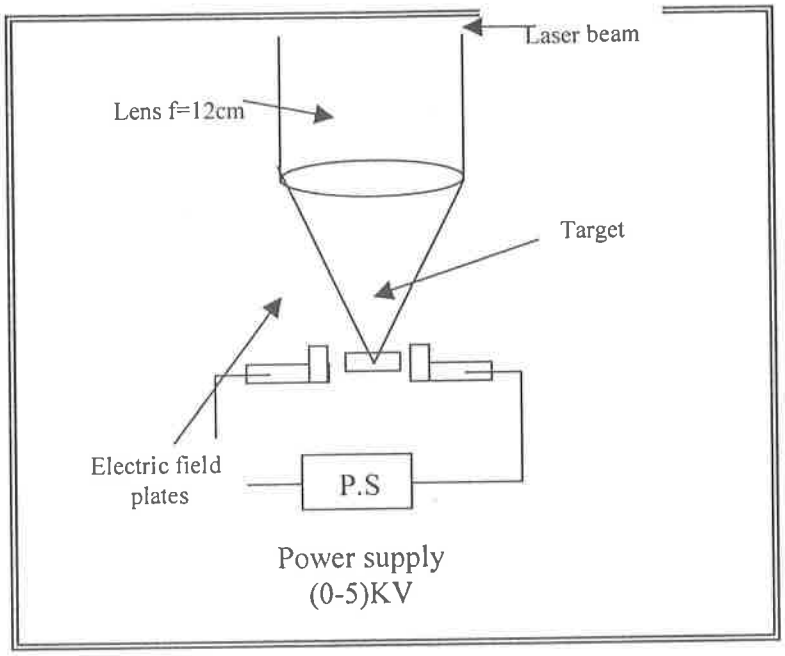
الجزء العملي *Experimental work*

استخدم ليزر نبضي نوع (Nd - YAG) يعمل بالنمط الكاوسي (TEM_{00}) وبأمد نبضة (300μs) وبطاقات تراوحت ما بين J(3-0.5) لتثقيب سبيكة البراص. ولتركيز شعاع الليزر ضمن مساحة صغيرة جدا وزيادة كثافة قدرة الشعاع الساقط استخدمت عدسة لامة ذات بعد بؤري (12cm). وقد تم وضع العينة على مسافة مساوية للبعد البؤري للعدسة ولدراسة تأثير المجال الكهربائي على أبعاد والشكل الهندسي للثقب المتولد من عملية التثقيب بالليزر تم تسليط المجال الكهربائي باتجاه عمودي على شعاع الليزر الساقط. باستخدام مجهز قدرة للفولتيات العالية تراوحت ما بين Kv(5-0) وكما موضح في المخطط (1) وقد تم تحضير عينات البحث من خلال قطعها بالأبعاد cm(1×1) وسمك (4mm) ومن ثم صقلها باستخدام ورق تنعيم متدرج ثم غسلها بالماء المقطر والكحول قبل تشعيعها بالليزر.

القياسات *Measurement*

استخدم مجهر بصري مصنع من قبل شركة (Leitz) للقياس، وقد شملت القياسات قياس عمق الثقب وقطره ومنها تم حساب النسبة الباعية للثقب والتي تمثل النسبة ما بين عمق الثقب الى قطره والتي تعد مقياسا لكفاءة عملية التثقيب بالليزر من خلال الاعتماد على مقدار زيادتها. كما تم دراسة الشكل الهندسي للثقب تحت المجهر من خلال قياس مخروطية الثقب (Hole taper) من خلال قياس قطري الثقب عند السطح والقعر وعمقه وداخل المادة ، والتي تعطى بالعلاقة التالية :-

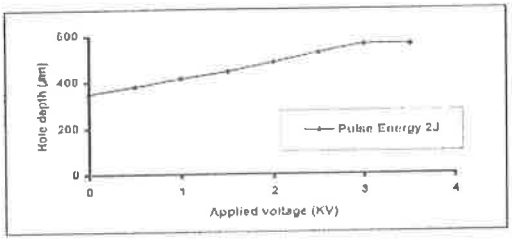
$$\text{Hole taper} = \tan^{-1}\left(\frac{\text{قطر الثقب عند السطح} - \text{قطر الثقب عند القعر}}{\text{عمق الثقب}}\right)$$



المخطط (1) يوضح طريقة التثقيب بوجود المجال الكهربائي

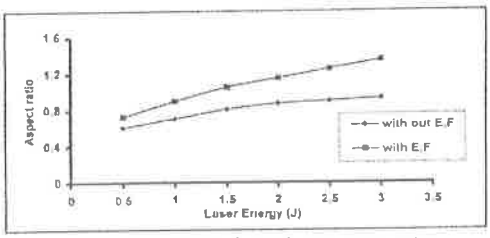
النتائج والمناقشة *Result and Discussion*

جرى دراسة تأثير المجال الكهربائي في عملية تثقيب سبيكة البراص من خلال دراسة العلاقة بين الجهد المسلط وعمق الثقب بثبوت طاقة الليزر بمقدار (2J) وكما مبين في الشكل(1).



الشكل (١) يبين التغير في عمق الثقب مع الجهد المسلط على سبيكة البراص

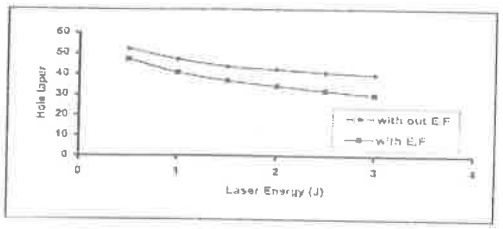
إذ يبين الشكل ان عمق الثقب يزداد بزيادة الجهد المسلط وإن هناك قيمة معينة للجهد وهي (3Kv) يصل عندها عمق الثقب الى أقصى قيمة له بعدها تتوقف الزيادة في العمق. إن هذه الزيادة تعود الى القوة الناجمة عن المجال الكهربائي والمسلطة على بخار المادة المتطاير لاحتوائه على جسيمات مشحونة (إلكترونات وأيونات ذرات المادة) مما يتسبب في إزاحتها جانبا تبعا لتأثير تلك القوة مؤدية بذلك الى نقصان في امتصاصية الشعاع من قبل البخار، أي زيادة عمق الثقب المتولد[2,4,8]. وعندما يكون الجهد اكثر من (3Kv) يصبح تأثير هذه القوة ثابتا أي نسبة الزيادة ثابتة أيضا ، كذلك تم دراسة العلاقة بين النسبة الباعية للثقب المتولد كدالة لطاقة الليزر الساقطة على البراص عند التثقيب باستخدام المجال الكهربائي وكما موضح بالشكل (2)،



الشكل (٢) يبين التغير في النسبة الباعية مع طاقة الليزر عند التثقيب باستخدام المجال الكهربائي.

إذ تم تسليط مجال كهربائي منتظم على العينة من خلال لوحين نحاسيين متوازيين تفصل بينهما مسافة (1cm) وجهد كهربائي مستمر مقداره (3Kv). ويتضح من الشكل اثر المجال الكهربائي في زيادة النسبة الباعية للثقب ولمدى الطاقات المستخدمة. بالإضافة الى ذلك تم دراسة تغير مخروطية الثقب دالة لطاقة الليزر الساقطة عند التثقيب باستخدام المجال الكهربائي ذاته كما مبين في الشكل (3) وتم ملاحظة من خلال هذه الدراسة أثر المجال الكهربائي

في نقصان مخروطية الثقب ولمدى الطاقات المستخدمة ، ان هذا التغير يعود الى السبب السابق نفسه في تقليل التوهين الحاصل من قبل المادة المتطايرة بتأثير القوة الطاردة لها والمتولدة من المجال الكهربائي والذي يؤدي الى زيادة عمق الثقب المتولد ، بينما يعاني قطر الثقب عند السطح وقطره عند القعر تغيراً قليلاً بسبب الانتشارية الحرارية العالية نسبياً للبراص (0.38 cm^2/sec) والتي تعمل على سريان الحرارة خلال المادة ومن ثم تقليل الطاقة المتحولة الى حرارة داخل المادة وبذلك تزداد النسبة الباعية للثقب بينما تقل المخروطية تحت تأثير المجال الكهربائي ولمدى الطاقات المستخدمة[4,2].



شكل (٣) يبين تغير مخروطية الثقب مع طاقة الليزر عند التثقيب باستخدام المجال الكهربائي

الجدول (1) يبين النسب المئوية للتغير في النسبة الباعية ومخروطية الثقب (الاشارة السالبة تعني نقصان المخروطية) المتحققة من تأثير المجال الكهربائي على البراص. فقد اكتسب زيادة مئوية بالنسبة الباعية بلغت (45%) بينما بلغت النسبة المئوية للنقصان في مخروطية الثقب (25%) عند اعلى طاقة.

الاستنتاجات Conclusion:

تبين من خلال البحث زيادة عمق الثقب وقطره بزيادة طاقة الليزر الساقطة وبالتالي ازدادت النسبة الباعية للثقب لكون التغير في عمق الثقب اكبر من التغير في قطره، بينما تقل مخروطية الثقب بزيادة طاقة الليزر الساقطة. وقد حقق إجراء عملية التثقيب باستخدام المجال الكهربائي زيادة في النسبة الباعية للثقب ونقصان في مخروطية ولجميع طاقات الليزر الساقطة، وتزداد النسب المئوية مع زيادة الطاقة حتى بلغت (45%) للنسبة الباعية و(25%) لمخروطية الثقب عند اعلى طاقة.

جدول (1) يبين النسب المئوية والتغير في النسبة الباعية ومخروطية الثقب عند التثقيب باستخدام المجال الكهربائي.

الطاقة (J)	النسب المئوية للتغير %	
	النسبة الباعية	مخروطية الثقب
0.5	19	-9.5
1	26	-13.6
1.5	29.6	-16
2	32	-18.8
2.5	38.8	-22
3	45	-25

References:

[1] William M. Steen, "Laser Material Processing", P.74, 75,101, (1991).

[2] J. Ready, "Industrial Application of Laser", Academic Press, Ch. 13, (1978).

[3] M.Von Allmen, " Laser Beam Interactions with Materials", Springer New York, P. 13,115, (1998).

[4] W. K. Hamoudi and B.G.Rasheed Int. J. for the joining of materials, Vol.7 (2/3), P.63-69,(1995).

[5] D. C. Hamilton, I. R. Pashby Optics and Laser tech., P.183- 188, (1979).

[6] B.S. Yilbas J. Mechanical Working Tech., Vol.13, P.303-315, (1986).

[7] William M.Steen, " J.Appl. Phys., Vol. 51,No.11, P.5636-5641, (1980).

[8] W.K.Hamoudi and B.G.Rasheed, Int.J.for the Joining of Materials, Vol.7 (1), P.31-33, (1995).