Al-Khwarizmi Engineering Journal

Al-Khwarizmi Engineering Journal, Vol. 8, No. 1, PP 86 -91 (2012)

تأثير القطع بالليزرعلى دقة الأبعاد وطبيعة الأسطح المثقبة

مصطفى احمد رجب* حامد صالح مهدي**

قسم الميكانيك/ المعهد التقني– بعقوبة

***قسم هندسة عمليات التصنيع/ كلية الهندسة الخوارزمي/ جامعة بغداد*

*E-mail: mostafaalnajar@yahoo.com

**E-mail: al_sarraf1@hotmail.com

(Received 17 April 2011; Accepted 14 November 2011)

الخلاصة

أستخدم في هذا البحث ليزر النيديميوم-ياك من خلال جهاز له مواصفات مختلفة لدراسة عملية تثقيب لمادة مستخدمة في المجالات الصناعية والعلمية مثل الصلب المنغنيزي الصلد، من هنا كانت الدراسة في هذا البحث من خلال الخطوات التطبيقية للتحقق من الخصائص المؤثرة في عملية التثقيب للصلب المنغنيزي الصلد بالليزر. تحدث عملية التثقيب نتيجة إمتصاص المادة لجزء من أشعة الليزر الساقطة عليها وهي محصلة تداخل خواص الليزر والمادة وشروط تبؤر الاشعة. أوضحت نتائج البحث ان زيادة طاقة شعاع الليزر عن قيمة معينة تؤدي الى زيادة قطر وعمق الثقب المنتج وتقليل مخروطيته، بالإضافة الى زيادة في معدل الإزالة ومقدار الخشونة.

الكلمات المفتاحية: *التثقيب بالليزر، الصلب المنغنيزي الصلد، شعاع الليزر، التبؤر، طاقة الليزر، سلبة الثقب.*

1. المقدمة

عمليات القطع اللاتقليدية Unconventional Machining Processesوهي عمليات القطع التي لا يعتمد التشغيل على صلادة أداة القطع كما هو معروف بالطرق التقليدية بل يعتمد على متغيرات أخرى يمكن السيطرة عليها مثل التيار، الفولتية، الذبذبات، سرعة الأجزاء الحاكة (Abrasives)،الضغط الهيدروليكي (Hydraulic Pressure) العوامل التاكلية (Corrosive Agent) والمواد المتأينة (MaterialsIonized) وغيرها وتمتاز هذه الطرق بإمكانية الحصول على دقة عالية ونعومة سطحية جيدة تصل إلى (0.5 – 0.25) مايكروميتر وتتضمن هذه الطرق أنواع متعددة بالاعتماد على نوع الطاقة المستخدمة وكما مبين أدناه [1,2]. تميزت عمليات التثقيب باستخدام شعاع الليزر بعدة مميزات منها: عدم الحاجة الى حصول أي تلامس مباشر مع المشغولة، إمكانية التثقيب الدقيق وبزوايا مائلة وبدقة عالية نتيجة تركيز الأشعة بشكل مسيطر عليه ، إمكانية تثقيب المواد الصلدة والهشة والقابلة للكسر بدون نحاتة (Chip) لان المواد المزالة تكون على هيئة بخار ومواد منصهرة [4,3]. الا ان من سلبيات هذه التقنية هي:الكلفة العالية، محدودية أعماق التثقيب التي لا تتجاوز (13 ملم)، خشونة السطح المنتج وعدم انتظام الشكل الهندسي له عند الإخفاق في استخدام الظروف المثلى للتثقيب ، مخروطية الثقب المنتج عند الإخفاق باختيار نمط وشكل النبضة [5]. لقد كان الاعتقاد السائد في البداية بأن المادة المزالة عند التثقيب بالليزر هي بحالة بخار ينتج من التسخين السريع للمادة الى حرارة أكبر من درجة تبخرها عند تسليط كثافة قدرة ليزرية عالية، بعد ذلك فقد أوضحت البحوث والدراسات [7,8]، بأن طاقة الليزر غير كافية لتبخير كمية المادة المزالة، وبينت بأن ما أزيل من المادة كان بهيئة بخار ومادة منصهرة متطايرة لا يشكل البخار فيها الا نسبة (10%). وتشير بعض الدراسات [10,9]، الى ان قدرة الليزر تتحول الى طاقة حرارية ترفع من حرارة البقعة التي تتركز فيها الاشعة الى درجة التبخر وفي نفس الوقت فأن الانتشار الحراري يبدأ في تلك المنطقة، وقبل بدأ عملية الغليان يبدأ السطح بالانصهار لكن النمو السريع في درجة الحرارة سوف لن يسمح بوقت كافي لحدوث زيادة في الذوبان ونتيجة لامتصاص طاقة إضافية تحدث عملية الغليان ثم التبخر. وتعتمد نسبة المادة المنصهرة المتطايرة على كثافة قدرة الليزر حيث تقل عند زيادة كثافة القدرة، ويتسم شعاع الليزر بخصائص مهمة نتيجة تأثيره في المادة الممتصة له، حيث تسبب تلك التأثيرات تحولات طورية في المادة، وفي أحيان أخرى يحدث تسخين للمادة دون أي تحول طوري لها [11,8]. كما أوضحت البحوث والدراسات[12] ان عملية التفاعل التي تحصل ما بين شعاع الليزر والمادة المراد تشغيلها تعتمد على: زمن نبضة الليزر، كثافة القدرة، قطر شعاع الليزر، امتصاصية المادة لأشعة الليزر، الانتشارية الحرارية، بالإضافة الى طبيعة سطح المادة.

2. الهدف من البحث

إن الدقة العالية في الإنتاج والتقليل من نسبة الخطأ، إضافة إلى تفادي التلف، جعل من استخدام طرق القطع اللاتقليدية في مجال الصناعة ذات جدوى اقتصادية، حيث أصبح بالإمكان الحصول على نوعية وإنهاء سطحي جديد للمنتج المشغل بهذه التقنية ، من

هنا جاءت فكرة البحث ومن خلال دراسة طبيعة الأسطح ودقة الأبعاد المنتجة بعملية التثقيب باستخدام شعاع الليزر.

3. الإجراء العملي

أجريت عملية التثقيب بواحدة من طرق من طر ائق القطع اللاتقليدية وهي التثقيب بشعاع الليزر على عينات من الصلب المنغنيزي الصلد (Manganese hard steel)، والموضح تركيبه الكيمياوي بالجدول(1).

وقد تم تناول الطريقة من حيث خشونة السطح المنتج، ودقة الأبعاد للعينات، بالإضافة معدل إزالة المعدن ، في البداية تم تحضير العينات النهائية، بقياسين، الأول (20*20*60) ملم والثاني (5*40*120) ملم، حيث استخدمت العينات الأولى لدراسة تأثير عمق التشغيل، والثانية لدراسة باقي المتغيرات. اما منظومة الليزر المستخدمة فهي عبارة عن ليزر النيوديوم- ياك، زمن النبضة لها (300) مايكرو ثانية، والطاقة المستخدمة (8) جول. تتضمن المنظومة: قضيب ليزر بطول (15.5) سم، وقطر (0.9) سم، ومصباح ومضي خطي (Linear Flash Lamp) عدد اثنان، إضافة الى مرآة خلفية مقعرة، انعكاساتها (100)%، ومرآة أمامية، انعكاسيتها (30)%. اما كثافة قدرة شعاع الليزر فقد تم حسابها من خلال المعادلة (1):[3]

$$I= E/ (\pi .f^2. \theta^2 .J) \quad \ldots(1)$$

حيث ان :

I = كثافة قدرة شعاع الليزر
E = طاقة الليزر
π = النسبة الثابتة = 3.14
f = البعد البؤري للعدسة (cm)
θ = انفراجية الشعاع (rad)
J = زمن نبضة الليزر (sec)

جدول -1-
التركيب الكيمياوي للصلب المستخدم في البحث.

العنصر	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	Fe
النسبة%	0.4	0.03	18	0.007	0.046	0.2	1.2	Rem

وقد أجريت عدة محاولات لمعرفة كثافة قدرة الليزر عند قيم مختلفة للبعد البؤري للعدسة كما موضحة بالجدول (2):

جدول -2-
كثافة القدرة عند قيم مختلفة للبعد البؤري للعدسة

البعد البؤري للعدسة (سم)	5	8	10	20
كثافة قدرة الليزر (واط/سم)	$9.8*10^{-8}*10$	$4*10^{-3}*10$	$2*10^{-3}*10$	$5*10^{-6}*10$

أما انفراجية شعاع الليزر فيمكن حسابها من خلال المعادلة (2) [3].

$$\theta= (D_2-D_1)/2L \quad \ldots(2)$$

حيث ان :

D_1 = قطر الحزمة عند المسافة X_1
D_2 = قطر الحزمة عند المسافة X_2
L = الفرق بين المسافتين

حيث وجد ان انفراجية الأشعة للجهاز ($2*10^{-3}$) rad، وزمن نبضة الليزر ($1.06*10^{-3}$) مايكروثانية، وقد تم قياس قطر الثقب باستخدام مجهر ضوئي (Optical Microscope) بحيث توضع العينة على قاعدة المجهر ويتغير ارتفاعها حتى يتم الحصول على أوضح صورة للسطح ثم يوضع مؤشر العدسة العينية على حافة الثقب، ثم يحرك الى الحافة المقابلة ويحسب الفرق بين القراءتين وتعاد العملية ثلاث مرات، ويؤخذ معدلها. اما عمق الثقب فقد تم قياسه بنفس الجهاز وبنفس الطريقة حيث يؤخذ الفرق بين قراءتين، الأولى لأوضح صورة للسطح، والثانية لأوضح صورة لقعر الثقب. بينما تقاس مخروطية الثقب (Hole Taper) عن طريق قياس قطري الثقب عند السطح والقعر والعمق داخل المادة.

$$\text{سلبة الثقب} = \frac{\text{(قطر الثقب عند السطح – قطر الثقب عند القعر)}}{2* \text{(عمق الثقب)}} \quad (3)$$

أثناء تسليط شعاع الليزر على السطح المراد تثقيبه ، فأن المنطقة المتأثرة بشعاع الليزر هي عبارة عن قطر الثقب مضافا" إليه منطقة التأثير الحراري حول الثقب.

في هذا البحث تم تسخين كل عينة على حدة ومن ثم إجراء الاختبار عليها، ثم قياس مقدار البلى على أساس قياس عمق التقعر (Crater Wear) لسطح الأداة (0.12) ملم) على اعتبار ان تجاوز هذا العمق يؤدي الى حدوث ضعف في متانة الحد القاطع

مما يؤدي الى انهيار كامل للحد القاطع مما يؤثر على القياس [10] حيث وضع سطح أداة القطع تحت عدسة ميكروسكوب مقسم تقسيما "دقيقا" وتم اختيار أي منطقة من السطح خارج منطقة التماس بحيث تكون الرؤية واضحة جدا" (Good Focusing) بعد ذلك يتم تحريك العدسة باتجاه أقصى تقعر على سطح التماس ومن ثم تم قياس المسافة التي حركت بها العدسة وهذه المسافة تمثل عمق أقصى تقعر ويتم إعادة العملية بع د فترة تثقيب مقدارها دقيقة واحدة.

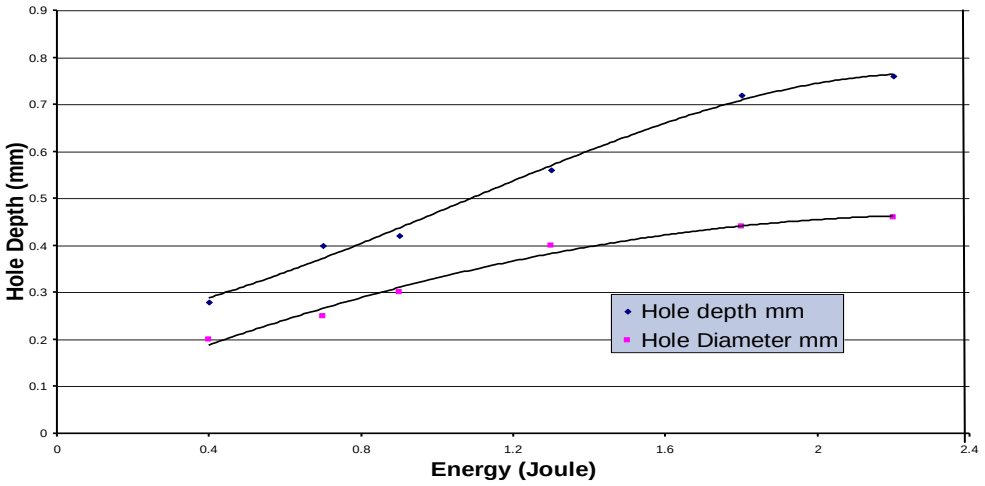
أما قياس الخشونة السطحية فقد تم استخدام جهاز يمكن من خلاله الحصول على رسم استنساخي مكبر Enlarged Tracing () لخشونة السطح وتسمى هذه الرسوم بجانبية السطح (Surface Profile) حيث يعمل هذا الجهاز على تكبير الحركة العمودية للإبرة (Stylus) أثناء مسحها للسطح، كما ويمكن للجهاز بالإضافة الى تسجيل المستمر لجانبية السطح على شريط ورقي إعطاء قراءة مباشرة للمتوسط الحسابي لخشونة السطح.

4. النتائج والمناقشة
التثقيب بأشعة الليزر

1.4. تأثير طاقة الليزر

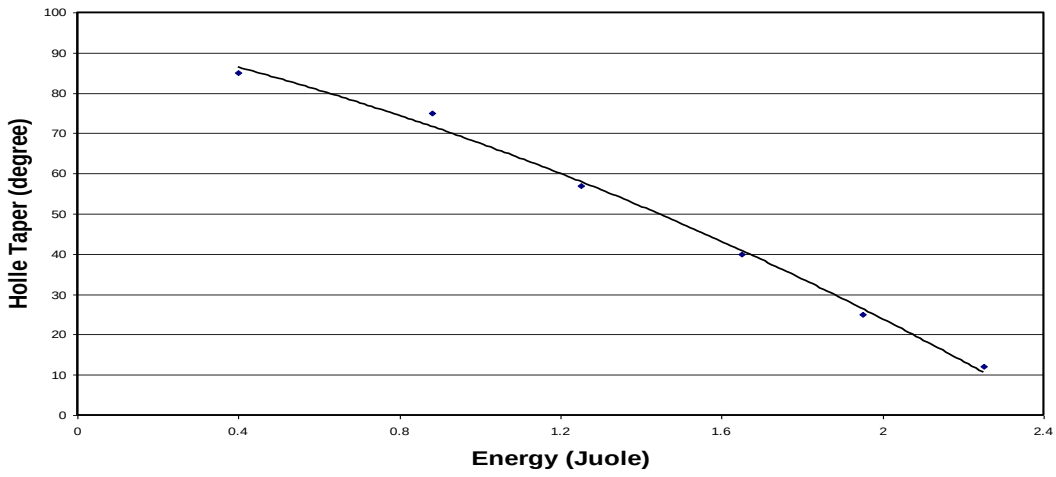
تؤثر طاقة أشعة الليزر على كل من عمق الثقب،قطر الثقب،مخروطية الثقب، حيث يزداد عمق الثقب مع زيادة طاقة الليزر، لان زيادة الطاقة الممتصة من قبل المادة يعني زيادة درجة حرارتها وبالتالي زيادة كمية المواد المنصهرة والمزالة بفعل ضغط البخار المتولد.لان تفاعل أشعة الليزر مع المادة يعني امتصاص المادة لتلك الأشعة، وان أعلى امتصاص للطاقة يحدث عند السطح ويتناقص مع زيادة البعد عنه (شكل 1).

كما ويزداد قطر الثقب مع زيادة طاقة الليزر نتيجة زيادة قطر حزمة الأشعة مع زيادة الطاقة بسبب زيادة الطاقة الممتصة والتي تؤدي الى زيادة في الحرارة المتولدة وتوزيعها بالاتجاه العرضي (شكل 1).



شكل -1- تأثير طاقة الليزر على كل من عمق وقطر الثقب.

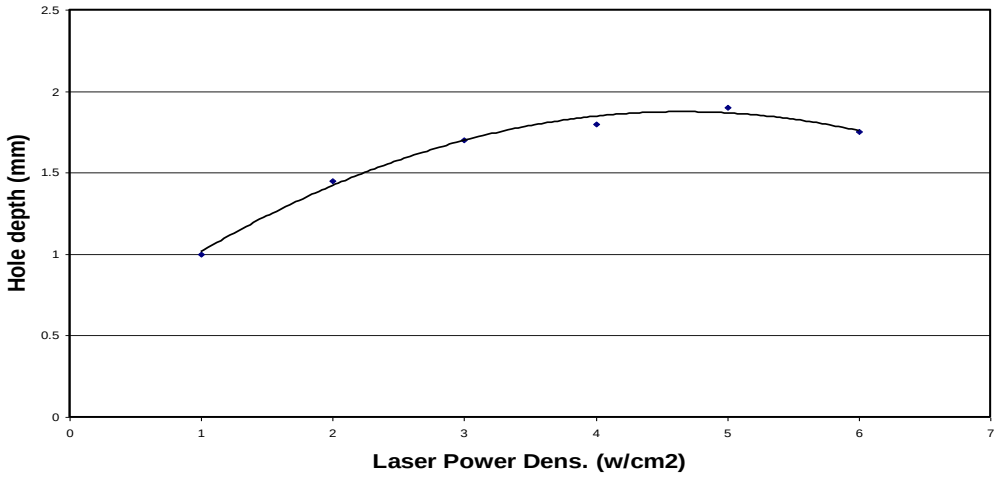
بينما تقل مخروطية الثقب مع زيادة طاقة الليزر بسبب الطاقة العالية التي يمكنها توليد ضغط عالي يمكن من خلاله إزالة المادة بشكل أكثر وفي الوقت نفسه تمنع من التصاق القطرات المنصهرة على جدران الثقب وبالتالي تدفعها الى الخارج (شكل 2).



شكل -2- تأثير طاقة الليزر على مخروطية الثقب .

2.4 تأثير كثافة قدرة الليزر

يزداد عمق الثقب مع زيادة كثافة قدرة الليزر بسبب زيادة ضغط الشعاع المتولد في الثقب، حيث ان ذلك يؤدي الى زيادة كمية المواد المزالة على هيئة قطرات سائلة، لكن عمق الثقب يبدأ بالنقصان عند زيادة كثافة القدرة، والسبب في ذلك هو ان كمية المواد المتبخرة سوف تكون كبيرة بحيث تعمل على حجب و امتصاص أشعة الليزر من الوصول الى المادة وبالتالي تقل الطاقة التي تصل الى المادة، وهذا يؤدي الى نقصان في الطاقة الواصلة الى المادة ومن ثم النقصان في عمق الثقب (شكل 3).



شكل -3- تأثير كثافة القدرة على عمق الثقب.

3.4 تأثير انفراجية أشعة الليزر على أبعاد الثقب

يزداد عمق الثقب مع نقصان انفراجية أشعة الليزر (زيادة تركيز أشعة الليزر) ولكن على حساب نقصان قطر الثقب والسبب في ذلك يعود الى نقصان مساحة منطقة التبؤر مع نقصان انفراجية الأشعة حسب العلاقة (8):[4].

$$S=f.\theta \quad \ldots(8)$$

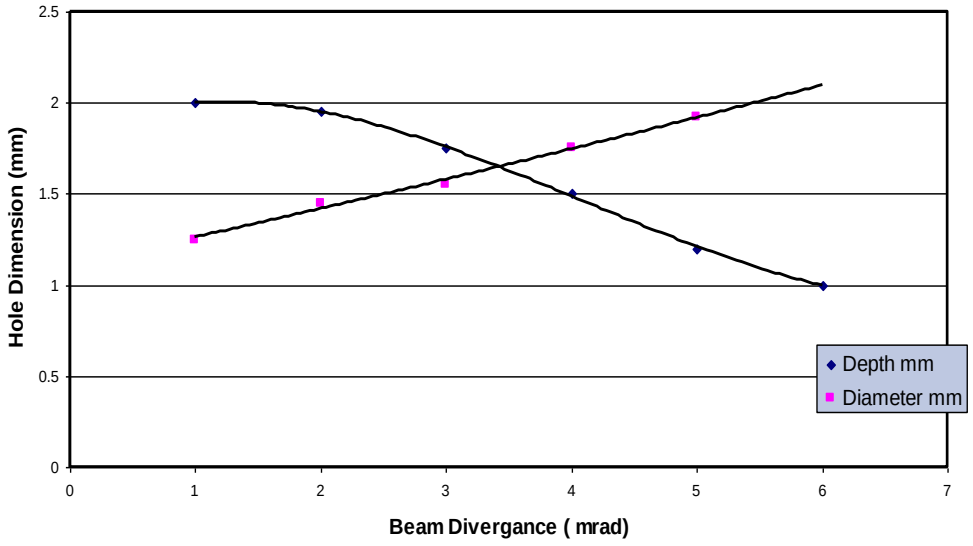
حيث ان :

S =مساحة منطقة التبؤر.

f =البعد البؤري للعدسة.

θ = انفراجية أشعة الليزر.

وهذا ينتج عنه نقصان في قطر الثقب مع زيادة العمق لان كثافة قدرة الليزر تكون عالية في هذه الحالة (شكل4).



شكل -4- تأثير انفراجية اشعة الليزر على ابعاد الثقب.

تستخدم طريقة التثقيب بالليزر وبشكل عام للثقوب الدقيقة والتي يصعب تثقيبها بالطرق التقليدية، كما يلاحظ أثناء التثقيب بالليزر ظهور دوائر متحدة المركز حول الثقب بسبب اختلاف معدل وسرعة التبريد لتلك المناطق. يلاحظ أيضا ضعف مقاومة التآكل للسطوح المثقبة بالليزر بسبب التحول ألطوري للمعدن في الهواء، نتيجة الحرارة العالية المتولدة على السطح. ومن الجدير بالذكر ان أشعة الليزر عندما تكون بشدة عالية، فأن المواد المزالة تتطاير من الثقب مكونة بلازما تعمل على تشتت أشعة الليزر عن المعدن، وبالتالي يتولد ضغط على السطح بهيئة صدمة موجية (Shock Wave) تحدث بعض التشققات (Cracks).

5. الاستنتاجات

1 - يزداد عمق الثقب المشغل بأشعة الليزر مع زيادة طاقة الأشعة بسبب الحرارة العالية نتيجة الطاقة الممتصة، مما يؤدي الى زيادة في كمية المواد المنصهرة و المزالة بفعل ضغط البخار المتولد.

2 - زيادة قطر الثقب المشغل بأشعة الليزر مع زيادة طاقة الأشعة نتيجة كبر قطر حزمة الليزر وبالتالي ارتفاع كمية الحرارة المتولدة وانتشارها بالاتجاه العرضي.

3 - نقصان مخروطية الثقب المشغل بأشعة الليزر مع زيادة طاقة الأشعة نتيجة الزيادة في معدل المواد المزالة من الجدران.

4 - احيانا قد تعاق عملية التثقيب بالليزر عندما يحصل امتصاص لأشعة الليزر من قبل المادة المراد تثقيبها بسبب البلازما التي تحجب أشعة الليزر عن المعدن.

6. المصادر

[1] J. Fieret and etal, "Aerodynamic interactions during laser cutting, SPIE Conf. Vol. 668, P.53, 1986.

[2] د.مصطفى أحمد رجب، زهير سمين شكر، تأثير متغيرات التشغيل بعملية التفريغ الكهربائي، موثق للنشر في مجلة الهندسة والتنمية- كلية الهندسة –الجامعة المستنصرية، الكتاب المرقم (3694) في 20-9-2010.

[3] M. V. Allmen and Etal, "Absorption phenomena in Metal Drilling with Nd: Lasers" IEEE Journal Quant eect. Vol. QE-14, No. P.85, 1978.

[4] د.مصطفى أحمد رجب،تأثير المعاملة بالليزر على تشققات الإجهاد للصلب المنخفض الكربون. منشور في وقائع المؤتمر العلمي الثالث في كلية الهندسة -جامعة بابل-للفترة 23-24 آذار 2011.

[5] B.S.Yilbas,"A study of Effecting Parameters in the Drilling Sheet Metals", Journal of Mechanical Working Technology, vol.13, P.303, 1986.

[6] J.Ready, "Material Processing", Proc. Of the IEEE, Vol.70 No.6, P.556, 1982.

[7] C.M. Banes and Etal. "Macro Processing", proc. OfIEEE, Vol.70 No.6 p.556, 1982.

[8] د.مصطفى أحمد رجب، زهير سمين شكر، تأثير متغيرات التشغيل بعملية التفريغ الكهربائي على سمك الطبقة المعاد سبكها، موثق للنشر في مجلة ديالى للعلوم الهندسية - كلية الهندسة –جامعة ديالى، حسب الكتاب المرقم (م د ع ه /265) في 23-11-2010.

[9] G. Herziger," Fundamentals of Laser Processing of Materials", SPIE, Vol. 668, P.2, 1989.

[10] Journal of soviet laser research (USA), Vol.3, No.3, P.194, May, 1987.

[11] د.مصطفى أحمد رجب،دقة الأبعاد وطبيعة الأسطح المشغلة –مجلة جامعة دمشق، المجلد التاسع عشر، العدد الاول، 2003، ص 135-145.

[12] عماد عيسى عبد الأحد (عملية التشغيل بالبراص) أطروحة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة – الإنتاج والمعادن (1998).

Effect of Laser Cutting Methods on Hole Deviation and Surface Integrity

Mustafa Ahmed Rijab* Hamid Salih Mahdi**

**Mechanical Department/Technical Institute – Baquba*

***Department of Manufacturing Operations Engineering / Al-Khwarizmi College of Engineering/ University of Baghdad*

E-mail: mostafaalnajar@yahoo.com

E-mail: al_sarraf1@hotmail.com

Abstract

In the present work usedNd:YAG laser systems of different output characteristic were employed to study the drilling process of material used in scientific and industrial fields. This material include Manganese hard steel. Our study went into the affecting parameters in drilling of Manganese hard steel by laser. Drilling process is achieved through material absorption of part of the incident laser beam. It is the resultant of interfering both, laser beam and material properties and the focusing conditions of the beam. The results as shown that the increase in the laser pulse energy over the used level has raised the hole diameter, depth and increased the hole taper. In addition to that a hole taper was affected by the laser energy, the focusing position and focal length of the lens used.