ISSN 1999-8716

مجلة ديالى
للعلوم الهندسية

المجلد الثاني , العدد الثاني , صفحات البحث(٤٠-٥٥) , كانون الأول٢٠٠٩

تأثير طرق القطع اللاتقليدية على دقة الأبعاد وطبيعة الأسطح المثقبة

د.مصطفى أحمد رجب النجار
أستاذ مساعد
المعهد التقني / بعقوبة-قسم الميكانيك

أحمد شهاب أحمد
مدرس مساعد
كلية الهندسة / جامعة ديالى

(الاستلام ١٥/ ١٢/ ٢٠٠٨ , القبول ٢٥ /٤ / ٢٠٠٩)

الخلاصة

أوضحت نتائج البحث أن زيادة قيمة التيار المستخدم بطريقة التثقيب بالتفريغ الكهربائي أدت إلى زيادة معدل الإزالة بالإضافة إلى مقدار الخشونة . كما وان زيادة عمق التثقيب يؤدي إلى زيادة في مخروطية الثقب، إضافة إلى زيادة في معدل تأكل قطب التشغيل. أما زيادة طاقة شعاع الليزر عن قيمة معينة فقد أدت إلى زيادة قطر وعمق الثقب المنتج وتقليل مخروطيته ، بالإضافة إلى زيادة في معدل الإزالة ومقدار الخشونة. في حين عند التشغيل بدرجات الحرارة العالية فان خشونة السطح تقل مع سرعة القطع وان مقدار البلى لأداة القطع ينخفض مع زيادة درجة حرارة التشغيل. أما تأثير معدل التغذية فأن زيادته تؤدي إلى انخفاض في مقدار البلى لأداة القطع ولحد معين ثم يبدأ مقدار السوفان بالزيادة مع زيادة معدلات التغذية عند ارتفاع درجة حرارة التشغيل. ولكن مقدار الخشونة ينخفض مع زيادة معدل التغذية عند ارتفاع درجة حرارة التشغيل , وبالنسبة إلى تأثير عمق القطع فهو قليل عند التشغيل بدرجات الحرارة العالية عند مقارنته مع معدلات التغذية بنفس التشغيل حيث يزداد مقدار البلى والخشونة السطحية مع زيادة عمق القطع وان مقدار البلى وقيم الخشونة السطحية تقل مع زيادة حرارة التشغيل ,خصوصا عند المقارنة مع التشغيل بدرجات حرارة الغرفة.

١. المقدمة

تميزت عمليات التثقيب باستخدام شعاع الليزر بعدة مميزات منها: عدم الحاجة إلى 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[1,2] إلا أن 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[2]. يتسم 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[4,3].

أوضحت البحوث والدراسات على أن طاقة الليزر غير كافية لتبخير كمية المادة المزالة، وان ما يزال من المادة المنصهرة المتطايرة لا يشكل إلا نسبة (10 %) في أحسن الأحوال، بحيث تعتمد المادة المنصهرة على كثافة قدرة الليزر، وان 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[5].

أما طريقة التشغيل بالتفريغ الكهربائي (Electrical Discharge Machining) ، فهي تستخدم بصورة رئيسية في صناعة القوالب (Dies). ويعتبر التيار المتغير الأساسي في عملية التشغيل، حيث إن زيادته تؤدي إلى زيادة كمية المعدن المزال من الشغلة, وبنفس الوقت زيادة في تأكل القطب، ولكن على حساب الخشونة السطحية، لذا فأن الخشونة السطحية تزداد مع زيادة التيار الكهربائي[6].

كما ويعتبر ضغط السائل الالكتروليتي من العوامل الأساسية الأخرى التي لها تأثير مباشر على الخشونة السطحية للمادة المشغلة[7].

أما أساس التشغيل بدرجات الحرارة العالية فهو إن تسخين الشغلة يقلل من مقاومة القص لها ولكن التشويه اللدن لمنطقة القطع يحدث بمقدار اقل وتكون النحاتة من النوع المستمر[8]. إن درجات الحرارة العالية تؤدي إلى انخفاض التصليد الانفعالي (Work Hardening) داخل معدن الشغلة, وهذا الانخفاض في التصليد الانفعالي لمعدن الشغلة مضافا" إليه قوى القطع الناتجة عن العملية تؤدي بالنتيجة إلى إطالة عمر أداة القطع,[9]. وجد بعض الباحثين[10] انه عند التشغيل بدرجات الحرارة العالية وباستخدام عدة كاربيدية فأن قوى القطع تقل مع زيادة درجة حرارة التشغيل, وان معدل الانخفاض لهذه القوى يزداد أكثر للعينات المصلدة عند مقارنتها بالعينات الأخرى غير المصلدة, وان جودة السطح المشغل تتحسن مع زيادة درجة حرارة التشغيل[11],حيث يزداد عمر أداة القطع مع زيادة درجة حرارة التشغيل ولكن لحد معين, وهذا يعني أن هناك درجة حرارة تشغيل مثالية يمكن الحصول منها على أفضل عمر لأداة القطع. وفي نفس الوقت وجد الباحثون[12] أن تأثير عمق القطع ...(Depth Of Cut) في عملية خراطة يكون مباشر على قوى القطع(Cutting Force) عند تشغيل الصلب الأوستينايتي المنغنيزي عند درجة 500C° . في حين وجد باحثون آخرون[13] انه من الممكن زيادة عمر الأداة لحد درجة° 426C لكنه بعد ذلك ينخفض عمر الأداة عند زيادة درجة حرارة التشغيل. إن سلوك تطور أداة القطع من حيث البلى عند التشغيل بدرجات الحرارة العالية أو عند التشغيل بدرجة حرارة الغرفة يكون متماثل لأن البلى يحصل نتيجة ارتفاع درجة حرارة القطع أثناء العملية, لكن معدل البلى عند التشغيل على الساخن يقل مع ارتفاع درجة الحرارة وهذه النتيجة تزيد من عمر الأداة, إن من المحددات الأساسية لطريقة التشغيل بدرجات الحرارة العالية هي طريقة تسخين الشغلة, حيث إن هناك طرق عديدة للتسخين وأن اختيار الطريقة المناسبة لتسخين الشغلة لا تعتمد فقط على معدن الشغلة وإنما على الشكل والنوع[14].

٢. 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 جيد للمنتج المشغل بهذه التقنية. من هنا جاءت فكرة البحث من خلال دراسة طبيعة الأسطح ودقة الأبعاد المنتجة بعملية التثقيب باستخدام شعاع الليزر ، ومقارنة ذلك بطبيعة الأسطح المنتجة بطريقة التثقيب بالتفريغ الكهربائي, والتثقيب بدرجات الحرارة العالية.

٣. الإجراء العملي

أجريت عملية التثقيب بثلاث طرق من طرائق القطع اللاتقليدية هي التثقيب بشعاع الليزر والتثقيب بالتفريغ الكهربائي, والتثقيب بدرجات الحرارة العالية على عينات من الصلب المنغنيزي الصلد (Manganese hard steel) ، والموضح تركيبه الكيمياوي بالجدول(١).

جدول(١):- 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 المقارنة بين الطرق السابقة من حيث خشونة السطح المنتج ، ودقة الأبعاد للعينات ، بالإضافة معدل إزالة المعدن. في البداية تم تحضير العينات النهائية، والتي كانت بقياسين ، الأول (20*20*60) ملم والثاني (5*40*120) ملم، حيث استخدمت العينات الأولى لدراسة تأثير عمق التشغيل ، والثانية لدراسة باقي المتغيرات. أما 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، و مصباح ومضي خطي (Linear Flash Lamp) عدد اثنان ، إضافة إلى مرآة خلفية مقعرة، انعكاساتها (100)%، ومرآة أمامية ، انعكاسيتا (30)%. أما كثافة قدرة شعاع الليزر فقد تم حسابها من خلال المعادلة (١):[٣]

$$I= E/ (\pi .f^2. \theta^2 .J) \quad \text{----------(1)}$$

حيث أن:-
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)

وقد أجريت عدة محاولات لمعرفة كثافة قدرة الليزر عند قيم مختلفة للبعد البؤري للعدسة كما موضحة بالجدول (٢)

جدول(2):- كثافة القدرة عند قيم مختلفة للبعد البؤري للعدسة

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

أما انفراجية شعاع الليزر فيمكن حسابها من خلال المعادلة (٢)[٣].

$$\theta =(D_2-D_1)/2L \quad \text{----------(2)}$$

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

حيث وجد أن انفراجية الأشعة للجهاز (10^{-3}*2) rad ، وزمن نبضة الليزر (10^{-3}*1.06) 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 إلى 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.

$$\text{سلبة الثقب} = \frac{\text{(قطر الثقب عند السطح – قطر الثقب عند القعر)}}{\text{٢ x (عمق الثقب)}} \quad \text{------(٣)}$$

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.

أما بالنسبة إلى طريقة التشغيل بالتفريغ الكهربائي ، فقد تم تصنيع الأقطاب اللازمة لتشغيل العينات من النحاس النقي Cu% (99.9)، وأجريت عملية التثقيب بالتفريغ الكهربائي بعد تحضير العينات والأقطاب وإعداد الماكنة التي تعمل بمولد نبضي عالي التردد، وقد تم اختيار ماسك مغناطيسي لغرض عملية التثبيت باستخدام سائل عازل نوع (Bpdi Electric 180) ، حيث تم ضبط القطب بوضع شاقولي ،والشغلة بصورة أفقية ، وكانت الفجوة بينهما بمقدار (0.03) ملم، وضغط المحلول (0.52) كغم / سم^{2}، وبقطبية اعتيادية . أما معدل إزالة المعدن فقد تم حسابه من المعادلة (4)، بينما تم حساب معدل تأكل القطب من المعادلة (5) [11] .

$$\text{معدل إزالة المعدن} = \frac{\text{وزن العينة قبل التشغيل (غم)- وزن العينة بعد التشغيل (غم)}}{\text{الزمن (دقيقة)}} \quad \text{--------(4)}$$

$$\text{معدل تأكل القطب} = \frac{\text{وزن القطب قبل التشغيل (غم) – وزن القطب بعد التشغيل (غم)}}{\text{الزمن (دقيقة)}} \quad \text{--------(5)}$$

أما العينات المستخدمة بالتثقيب بدرجات الحرارة العالية فهي عبارة عن قضبان بقطر (20mm) وبطول (200mm) تم تسخين العينات في فرن كهربائي متوسط الحجم من ESFI-PID من شركة (Carbolate) وقد تم تسخين العينات فيه بدرجات مختلفة وهي على التوالي:-C˚ (750,700,650,600,550) حيث تم ضبط الفرن على الدرجة الحرارية المطلوبة وعندما تصل إلى هذه الدرجة ننتظر نصف ساعة ومن ثم تم وضع العينات ولمدة(١٥) دقيقة لغرض تجانس كمية الحرارة على أجزاء الشغلة بعد ذلك تم دراسة تأثير كل من سرعة القطع (125,100,75,50,25). mm/min معدل التغذية mm/rev (1.25,1,0.75,0.5,0.25) وعمق القطع (2.5,2,1.5,1,0.5 mm) على مقدار البلى الحاصل على كل من وجهي العدة وخشونة السطح المشغل, عند درجات الحرارة العالية ومقارنة ذلك مع التثقيب بدرجات حرارة الغرفة. حيث انه بعد تسخين العينة ثم التقاطها من الفرن بواسطة ملقط خاص ومن ثم تثبيت العينة على ماكنة التثقيب (وهي من النوع المتوسط). ومن محددات هذه الطريقة هي صعوبة تركيز الحرارة على منطقة القطع ومن ثم صعوبة السيطرة على عمق التسخين حيث ان العينة تسخن بأكملها وما ينجم عنها من مساوئ التشققات الحرارية الناتجة بعد عملية التبريد للعينة عند تعريضها للهواء, ولكنها استخدمت في البحث باعتبارها طريقة سهلة ورخيصة وأن الغاية من هذا البحث هو التعرف على هذه الطريقة ومعرفة المديات (ولو بصورة تقريبية) وظروف التشغيل المناسبة لهذه الطريقة عند تثقيب المعادن الصلدة جدا" التي يصعب تثقيبها (إن لم يكن من المستحيل) بالطرق التقليدية. عند استخدام الفرن لغرض التسخين فأن العملية تصبح مكلفة في حالة الإنتاج الواسع (Mass Production) لأنه في هذه الحالة تحتاج إلى مكان توضع فيه العينات للحفاظ على درجة حرارتها لحين تشغيلها على الماكنة, لكن العملية تصبح اقتصادية فيما لو كانت المشغولات تحتاج إلى معاملة حرارية مسبقة (أي قبل عملية التشغيل على الساخن) ففي هذه الحالة تستثمر حرارة العينات (بعد خروجها من الفرن) مباشرة لهذا فأن من الأمور الواجب مراعاتها عند التشغيل على الساخن هي:

١. معدل التسخين يجب أن يكون عالي بحيث ترتفع درجة الحرارة بأقل زمن.
٢. التسخين يجب أن يركز على منطقة القص فقط لان التغلغل للحرارة بعمق قطع كبير يسبب تشققات حرارية.
٣. يجب أن تكون معدات التسخين بمدى دقيق لدرجات الحرارة.
٤. يجب أن تكون العملية مسيطر عليها من حيث حرارة التسخين.
٥. إن تكون المعدات بكفاءة عالية وبأقل كلفة[12].

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 ٠,١٢ ملم على اعتبار أن تجاوز هذا العمق يؤدي إلى حدوث ضعف في متانة الحد القاطع مما يؤدي إلى 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 بعد 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 إلى تسجيل المستمر لجانبية السطح على شريط ورقي إعطاء قراءة مباشرة للمتوسط الحسابي لخشونة السطح.

٤. النتائج والمناقشة

١ ـ التثقيب بالتفريغ الكهربائي

١ ـ١ ـ تأثير التيار

يزداد معدل الإزالة مع زيادة قيمة التيار (شكل ١) ، نتيجة ارتفاع مقدار طاقة الشرارة ، حيث يزداد حجم الفجوات ، ومن ثم يزداد حجم المخلفات المعدنية المنفصلة من سطح الشغلة. كما ويزداد معدل تأكل قطب التشغيل مع زيادة قيمة التيار وهذا بالنتيجة يزيد من سلبة الثقب المنتج و عليه فان زيادة التيار يزيد من سلبة الثقب المنتج (شكل ٣) . وبالمقابل فان زيادة التآكل في قطب التشغيل تؤدي إلى زيادة مقدار الخشونة السطحية ، لذا فأن زيادة مقدار التيار الكهربائي يزيد من مقدار الخشونة السطحية نتيجة زيادة قدرة الشرارة الكهربائية، وحسب المعادلة (6):[6]

$$R_u=75+(0.43)^{Ip2/3}.(P)^{1/6} \qquad \text{----------(6)}$$

$$P= I_p . V_a . T_1 \qquad \text{----------(7)}$$

حيث

P= طاقة النبضة (mj)

I_p= تيار النبضة (Amp)

V_a= فولتية الفجوة (volt)

R_u = الخشونة السطحية

T_1 = زمن النبضة ($Sec* 10^{-3}$)

حيث أن زيادة التيار يؤدي إلى زيادة حجم الفجوات المتكونة على سطح الشغلة ,ومن ثم زيادة مقدار الخشونة و في هذه الحالة يزداد عمق الثقب المنتج مع زيادة القدرة و بالنتيجة تزداد الخشونة السطحية مع زيادة عمق الثقب كما موضح (بالشكل٤).

١ـ٢ ـتأثير عمق التشغيل

تزداد الخشونة السطحية مع زيادة التيار المستخدم (شكل ٥). وذلك نتيجة تعرض المناطق القريبة من فوهة الثقب العليا إلى تأثير التفريغ الكهربائي عدة مرات بينما يقل تأثير ذلك كلما اقترب القطب من الفوهة، لذا فأن المناطق المعرضة للتشغيل المتكرر تكتسب خشونة منخفضة بالمقارنة مع المناطق المشغلة بأشواط محددة.

أما تأثير عمق التثقيب فهو يزيد من مقدار السلبة ، وقد يرجع السبب في ذلك إلى أن تآكل القطب يزداد مع زيادة العمق بحيث يصبح مخروطيا باتجاه نهايتيه، لذا يكون شكل القطب الناتج مخروطيا لكون عملية التشغيل بالتفريغ الكهربائي

هي عملية استنساخ لشكل القطب على الشغلة. و هذا يعني تأثر كمية المعدن المزال بمقدار التيار المستخدم كما مبين بالشكل (٦) . حيث تزداد كمية المعدن المزال بزيادة قيمة التيار.

٢ ـ التثقيب بأشعة الليزر

٢ ـ١ ـ 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 (شكل٧).

كما ويزداد قطر الثقب مع زيادة طاقة الليزر نتيجة زيادة قطر حزمة الأشعة مع زيادة الطاقة بسبب زيادة الطاقة الممتصة والتي تؤدي إلى زيادة في الحرارة المتولدة وتوزيعها بالاتجاه العرضي (شكل٧).

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 إلى الخارج (شكل٨).

٢ ـ٢ تأثير كثافة قدرة الليزر

يزداد عمق الثقب مع زيادة كثافة قدرة الليزر بسبب زيادة ضغط الشعاع المتولد في الثقب , حيث أن ذلك يؤدي إلى زيادة كمية المواد المزالة على هيئة قطرات سائلة, لكن عمق الثقب يبدأ بالنقصان عند زيادة كثافة القدرة , والسبب في ذلك هو أن كمية المواد المتبخرة سوف تكون كبيرة بحيث تعمل على حجب و امتصاص أشعة الليزر من الوصول إلى المادة وبالتالي تقل الطاقة التي تصل إلى المادة, وهذا يؤدي إلى نقصان في الطاقة الواصلة إلى المادة ومن ثم النقصان في عمق الثقب (شكل ٩).

٢ ـ٣ 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 إلى نقصان مساحة منطقة التبؤر مع نقصان انفراجية الأشعة حسب العلاقة(٨): [4]

$$S=f.\theta \quad \text{----------(8)}$$

حيث أن

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 (شكل١٠).

٣ ـمقارنة بين طريقتين التثقيب بالليزر و التفريغ الكهربائي

تستخدم طريقة التثقيب بالليزر وبشكل عام للثقوب الدقيقة والتي يصعب تثقيبها بالطرق التقليدية, بينما يصلح التثقيب بالتفريغ الكهربائي لإنتاج الثقوب الكبيرة, لان الصغير منها يحتاج إلى وقت طويل. كما يلاحظ أثناء التثقيب بالليزر ظهور دوائر متحدة المركز حول الثقب بسبب اختلاف معدل وسرعة التبريد لتلك المناطق , لكن هذه الحالة غير موجودة عند التثقيب بالتفريغ الكهربائي.

يلاحظ أيضا ضعف مقاومة التآكل للسطوح المثقبة بالليزر بسبب التحول ألطوري للمعدن في الهواء, وهذه الحالة يمكن ملاحظتها أيضا عند التثقيب بالتفريغ الكهربائي, نتيجة الحرارة العالية المتولدة على السطح التي تؤدي الى تكون طبقة معاد سبكها (Recast Layer) ينتج عنها تولد الشقوق الدقيقة(Micro Cracks) التي تسبب الفشل أثناء تعرض الجزء للأحمال الدورية. 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). في حين عند التثقيب بالتفريغ الكهربائي وخصوصا عند الثقوب الدقيقة فأن الإنهاء السطحي الناتج لا يفي بالغرض كما وانه لا يمكن الحصول على حافات دقيقة بهذه الطريقة, نتيجة تأكل زوايا القطب أثناء الاستخدام.

4- التثقيب بدرجات الحرارة العالية (تأثير ظروف القطع على مقدار البلى وخشونة السطح)

4-1- سرعة القطع

٤-١-١ تأثير سرعة القطع على مقدار البلى

وجد من خلال النتائج انخفاض مقدار البلى لأداة القطع مع زيادة درجة حرارة التشغيل والسبب في ذلك هو انه مع زيادة درجة حرارة التشغيل تقل مقاومة الخضوع لمعدن الشغلة, وبما أن عملية القطع تتضمن عملية التشكيل وقص للنحاتة لهذا تقل القوى اللازمة وقص النحاتة لهذا تقل القوى اللازمة وقص النحاتة مع زيادة درجة حرارة التشغيل , وبالتالي تسهل عملية تغلغل الحد القاطع لأداة القطع داخل معدن الشغلة. أن انخفاض قوى القطع أثناء العملية عند التشغيل على الساخن يؤدي إلى انخفاض مقدار البلى لأداة القطع إلى حد معين من درجة حرارة التشغيل وبعد ذلك يبدأ مقدار البلى بالازدياد مع زيادة درجة الحرارة والسبب في ذلك يرجع إلى انخفاض مقاومة الحد القاطع نتيجة الحرارة العالية (درجة حرارة التشغيل + درجة الحرارة الناتجة عن عملية القطع) مما يؤدي إلى انخفاض عمر أداة القطع. أن انخفاض قوى القطع بزيادة درجة حرارة التشغيل يقود بالنتيجة إلى إمكانية استخدام سرع قطع عالية أثناء التشغيل على الساخن دون أن يؤثر ذلك على عمر الأداة مما يؤدي إلى زيادة إنتاجية سرع القطع, وهذا ما تم التوصل إليه خلال البحث حيث ان مقدار البلى لأداة القطع يقل مع زيادة سرع القطع, ولكن الى حد معين وهذا يعني ان هناك حد معين يمكن اعتباره حد مثالي يمكن الحصول منه على اقل قيمة لمقدار البلى عند درجة حرارة وسرعة قطع معينين.

٤-١-٢ تأثير سرعة القطع على مقدار خشونة السطح

عند التشغيل على الساخن ينخفض مقدار خشونة السطح مع زيادة درجة الحرارة والسبب في ذلك قد يكون له علاقة وثيقة بمقدار البلى لأداة القطع حيث أن حافة القطع إذا كانت حديثة التسنين (أي في بداية عمرها الأدائي) فأن السطح المشغل يكون أفضل بكثير من آخر سطح مشغل وبنفس الأداة وبعد مرور فترة زمنية على استخدام الأداة. أي انه كلما يقل حدة حافة الحد القاطع كلما أصبح السطح أكثر خشونة , لذلك فأن كافة العوامل التي تقلل من مقدار الاحتكاك بين النحاتة والعدة تحسن من جودة السطح (Surface Finish) . هذا يعني أن درجة حرارة التشغيل تعمل على خفض قوى القطع الناتجة أثناء العملية والتي تؤدي إلى خفض مقدار البلى وبالتالي خشونة سطحية اقل. ويمكن ملاحظة ذلك من خلال العلاقة التالية (١٠):

$$H = r - [4r^2 - s^2)0.5] / 2 \qquad \text{(١٠) ----------}$$

حيث أن (H) مقدار النعومة السطحية, (r) نصف قطر استدارة الحد القاطع, (s) التغذية, من خلال ذلك نجد أن هناك علاقة بين الخشونة ونصف قطر استدارة الحد القاطع (الذي يزداد مع زيادة مقدار البلى أثناء العملية) حيث تزداد

الخشونة السطحية كلما يزداد نصف قطر استدارة الحد القاطع. وقد وجد من خلال البحث أيضا" انخفاض مقدار الخشونة مع زيادة سرعة القطع والشكل (12) يوضح ذلك.

٤-٢ مقدار التغذية

٤-٢-١ تأثير مقدار التغذية على مقدار البلى

الشكل (13) يوضح انخفاض مقدار البلى مع زيادة درجة الحرارة ولحد معين ومن ثم يبين زيادة مقدار البلى مع زيادة معدلات التغذية عند التشغيل بدرجات الحرارة العالية والسبب في ذلك يرجع إلى انه عند التشغيل بدرجات الحرارة العالية ينخفض مقدار التصليد الانفعالي (Work Hardening) ومقاومة الخضوع (Yield Strength) لمعدن الشغلة مع زيادة درجة حرارة التشغيل وهذا يعني ان القوى الناتجة عن عملية القطع والمؤثرة على العدة تكون قليلة وبالتالي فان مقدار البلى سوف يكون اقل ولحد معين (كما واضح من الشكل) بعد ذلك يبدأ يزداد مقدار البلى مع زيادة درجة الحرارة , لأن الارتفاع الكبير في درجة الحرارة يؤدي الى تلين (soft) الحد القاطع لأداة القطع وبالتالي تقل مقاومته للبلى, هذا التأثير مضافا" إليه في معدلات التغذية يؤدي بالنتيجة الى الإسراع من مقدار إرتفاع معدل البلى أثناء عملية القطع لان الزيادة في معدلات التغذية تعني الزيادة في قوى القطع الناتجة أثناء العملية والمؤثرة على حافة القطع وبالتالي الزيادة في مقدار البلى مع زيادة معدلات التغذية.

٤-٢-٢ تأثير مقدار التغذية على مقدار الخشونة السطحية

يوضح الشكل (14) أن مقدار البلى للأداة وما ينجم عنه من زيادة مقدار الاحتكاك الذي ينجم عنه الحرارة الكافية للتقليل من مقاومة معدن العدة تجاه المعدن المشغل وبالتالي بلى العدة وهذا بالنتيجة يؤدي إلى زيادة الخشونة للسطح المشغل. بالإضافة إلى أن الزيادة في قوى القطع الناتجة عن العملية والمؤثرة على حافة القطع يزيد من بلى العدة بدرجة أكثر وهذا بدوره يؤثر على جودة السطح المشغل, لهذا يزداد مقدار الخشونة السطحية مع زيادة مقدار التغذية عند التشغيل بدرجات الحرارة العالية حيث أن تأثير درجات حرارة التشغيل يكون قليل عند مقارنته بمقدار التغذية على جودة السطح المشغل, صحيح انه في البداية تقل الخشونة مع زيادة درجة الحرارة ولكن لحد معين , حيث انه بعد ذلك يكون تأثير درجة حرارة التشغيل قليل بينما يظهر التأثير القوي لمعدلات التغذية التي تزيد من مقدار الخشونة مع الزيادة في مقاديرها.

٤-٣ عمق القطع

٤-٣-١ تأثير عمق القطع على مقدار البلى

وجد من خلال البحث أن تأثير عمق القطع على البلى يكون قليل من ملاحظة الشـــكل (15) نجد انخفاض مقدار البلى مع زيادة درجة الحرارة بسبب انخفاض قوى القطع الناتجة أثناء العملية والمؤثرة على حافة الحد القاطع وبالتالي سهولة تغلغله داخل معدن الشغلة لهذا نجد بأن عمق القطع يزداد مع زيادة درجة حرارة التشغيل. وقد وجد أيضا" إن زيادة مقدار عمق القطع لا يكون كبير على مقدار البلى و يلاحظ من الشكل (15) تقارب المنحنيات باختلاف عمق القطع, وهذا يدل على أن تأثير عمق القطع على مقدار البلى لأداة القطع عند التشغيل بدرجات الحرارة العالية يكون قليل, وسبب ذلك, إن عمق القطع كما هو معروف عبارة عن المسافة التي يتغلغل بها الحد القاطع لأداة القطع داخل معدن الشغلة, وان هذه الأداة كلما تغلغلت أكثر تواجه صعوبة من قبل معدن الشغلة لكن درجات حرارة التشغيل تحاول التقليل من هذا التأثير بحيث تجعل معدن الشغلة أكثر ليونة (Soft) لذلك لا تجد الأداة صعوبة في طريقها داخل الشغلة.

٤-٣-٢ تأثير عمق القطع على مقدار الخشونة السطحية

يبين الشكل (16) انخفاض الخشونة السطحية مع زيادة درجة حرارة التشغيل, وزيادة الخشونة مع زيادة عمق القطع , حيث يظهر السطح المشغل (عند قيم عالية من مقادير عمق القطع) ذات طبيعة تمزقية, لهذا يكون السطح أكثر

خشونة مع زيادة عمق القطع لان الزيادة في عمق القطع تؤدي الى طبيعة تمزق سطح المعدن المشغل لتكوين النحاتة بدلا" من عملية القص لفصل النحاتة من السطح المشغل, والذي يساعد على ذلك هو ارتفاع درجة حرارة التشغيل لأنها تجعل من المعدن المشغل أكثر ليونة, مما يجعل السطح أكثر خشونة نتيجة الطبيعة التمزقية له عند التشغيل بهذه الظروف.

الاستنتاجات

١. يزداد معدل الإزالة للصلب المنغيزي الصلد (X40MnCr182) عند التشغيل بالتفريغ الكهربائي مع زيادة مقدار التيار.

٢. تتأثر دقة الثقب (مخروطيته) المنتج بطريقة التفريغ الكهربائي بكل من مخروطية القطب و سمك القطعة المشغلة, حيث تزداد مخروطية الثقب المنتج مع زيادة سمك القطعة المشغلة.

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

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

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

٦. أحيانا قد تعاق عملية التثقيب بالليزر عندما يحصل امتصاص لأشعة الليزر من قبل المادة المراد تثقيبها بسبب البلازما التي تحجب أشعة الليزر عن المعدن, لكن هذا الشيء لا يحصل عند التثقيب بالتفريغ الكهربائي بسبب ضغط السائل الالكتروليتي الذي يدفع المخلفات المعدنية إلى الخارج.

٧. تنخفض كل من خشونة السطح ومقدار البلى لأداة القطع مع زيادة سرعة القطع عند التشغيل بدرجة حرارة مقدارها $650\ C^{\circ}$.

٨. ينخفض مقدار البلى لأداة القطع مع زيادة معدلات التغذية عند التشغيل بدرجات الحرارة العالية ولحد $650\ C^{\circ}$ ولكن سرعان مايزيد مقدار البلى مع زيادة معدل التغذية بعد ذلك.

٩. تذبذب مقدار الخشونة مع زيادة معدلات التغذية عند التشغيل بدرجات الحرارة العالية.

١٠. يزداد مقدار الخشونة مع زيادة عمق القطع عند التشغيل بدرجات الحرارة العالية لكن تأثيره طفيف عند مقارنته مع معدلات التغذية.

١١. ينخفض مقدار البلى وقيم الخشونة السطحية مع ارتفاع درجة حرارة التشغيل مقارنة مع التشغيل بدرجات حرارة الغرفة.

المصـادر

1- M.V. Allmen and etal, "Influence of (LSD) on Metal Drilling with pulsed CO_2 Laser" , J.appl. Phys. ,Vol. 29 , No. 11, P. 56, 1978.

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

3- E.G. Yosif, "Effects of Electrophonic Gases at Sub. Atmospheric pressure an Laser Induced plasma in Machining of Metals", Ph. D. Thesis Birmingham University P.15,1980.

4-G. Herziger," Fundamentals of laser processing of Materials", SPIE, Vol. 668, P.2 , 1989.

5- J. Fieret and etal, "Aerodynamic interactions during laser cutting, SPIE Conf. Vol. 668, P.53, 1986.

٦- الظروف المثلى لتشغيل اللقم الكاربيدية بالشرارة الكهربائية, منشور ضمن وقائع مؤتمر الهندسة الميكانيكية الأردني الدولي الخامس ٢٦-٢٨ نيسان (أبريل) ٢٠٠٤ .ص(٤٣).

7. تأثير ظروف التشغيل بالتفريغ الكهربائي على سمك الطبقة المعاد سبكها , بحث موثق للنشر ضمن وقائع المؤتمر العلمي التاسع لهيئة التعليم التقني ٢٨-٢٩ آذار ٢٠٠٥. ص ٤٩-٥٩. ومقبول للنشر وموثق حسب الكتاب المرقم ١٠٧٩٥/٢٧/٧ في ١٦-٨-٢٠٠٥ .

8- B.S.Yilbas ,"A study of Effecting parameters in the Drilling sheet Metals", Journal of Mechanical Working Technology, vol.13, P.303, 1986.

9- J.Ready, "Material processing" ,Proc. Of the IEEE , Vol.70 No.6 , P.556,1982.

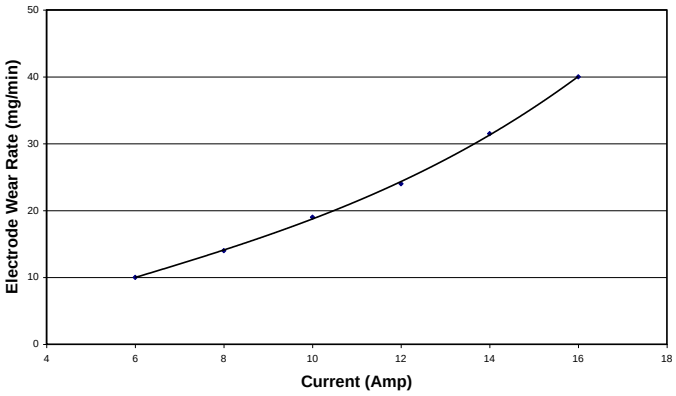
10- C.M. Banas and Etal., "Macro processing", proc. Of IEEE,Vol.70 No.6 p.556, 1982.

١١- تأثير ظروف القطع على مقدار البلى وخشونة السطح عند التشغيل بدرجات الحرارة العالية, منشور ضمن وقائع المؤتمر العلمي السادس لهيئة المعاهد الفنية و مقبول للنشر في مجلة التقني وموثق حسب الكتاب المرقم ٧٥٤ في ٤-٦-١٩٩٨ .

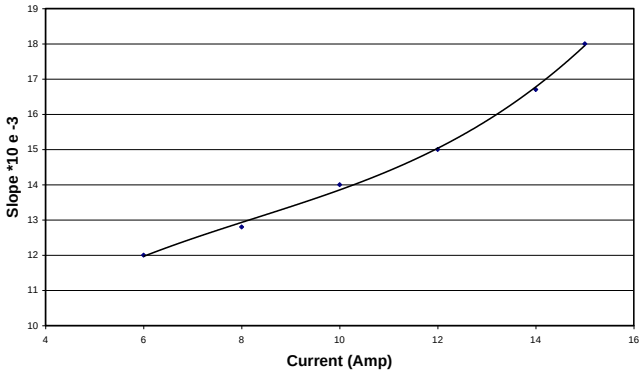
12- B.S.Yilbas ,"A study of Effecting parameters in the Drilling sheet Metals", Journal of Mechanical Working Technology, vol.13, P.303, 1986.

13- د. محمد التورنجي , د.ضياء شنشل, قطع المعادن, قسم هندسة الإنتاج والمعادن – الجامعة التكنولوجية (١٩٩٠)

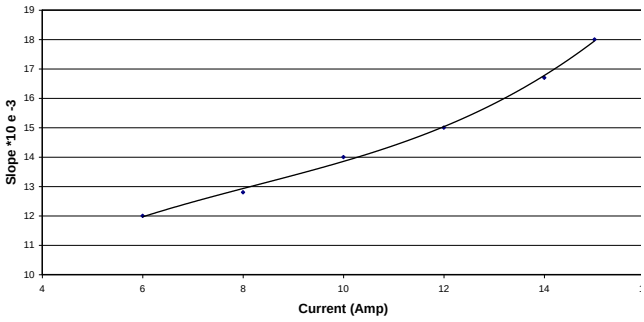
14- عماد عيسى عبد الأحد (عملية التشغيل بالبراص) أطروحة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة – الإنتاج والمعادن (١٩٩٨)



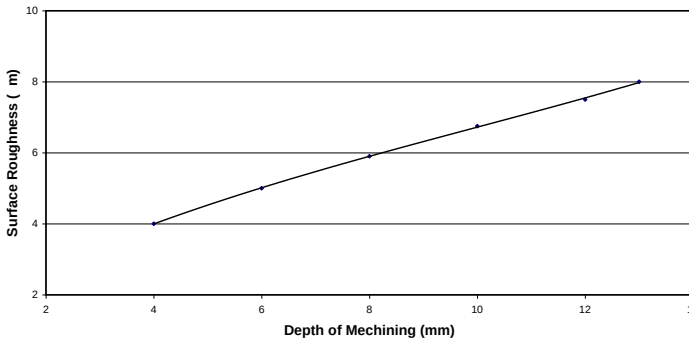
شكل(١):- تأثير التيار على معدل إزالة المعدن



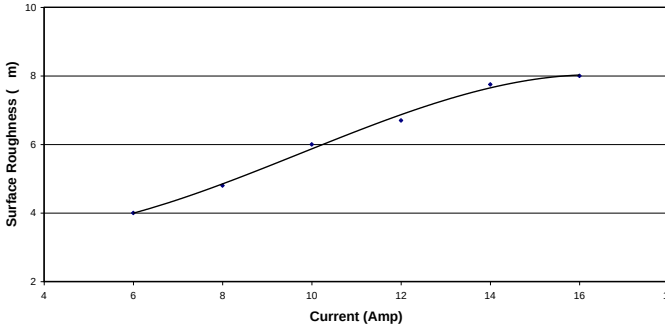
شكل(٢):- تأثير التيار على معدل تآكل القطب



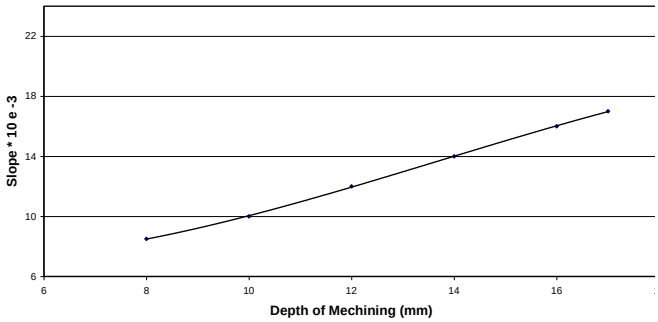
شكل(٣):- تأثير التيار على مقدار السلبية



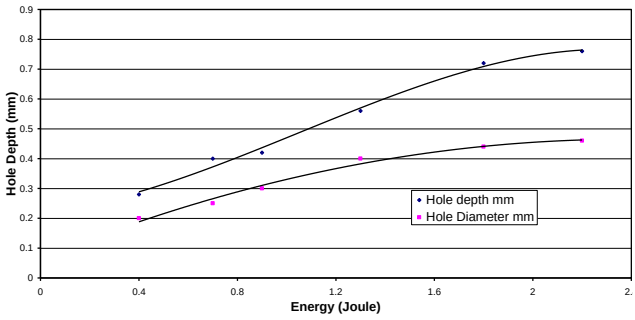
شكل(4):- تأثير عمق التشغيل على خشونة السطح



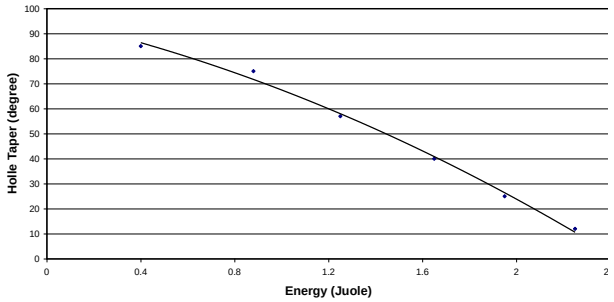
شكل(٥):- تأثير التيار على الخشونة السطحية



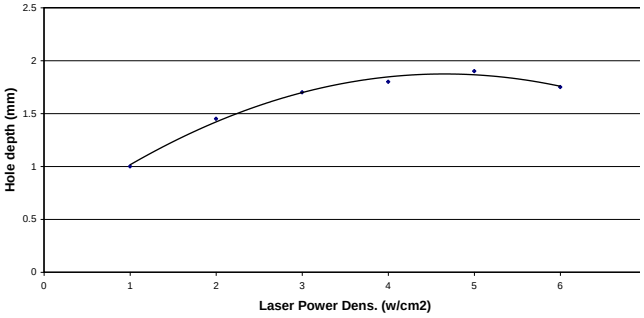
شكل(٦):- تأثير عمق التشغيل على مقدار السلبية



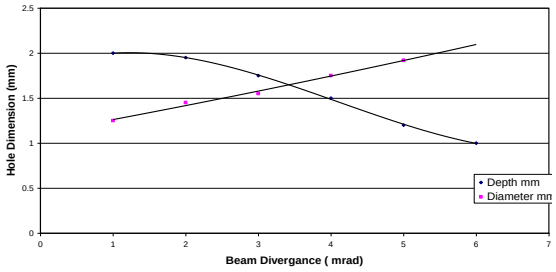
شكل(٧):- تأثير طاقة الليزر على كل من عمق و قطر الثقب.



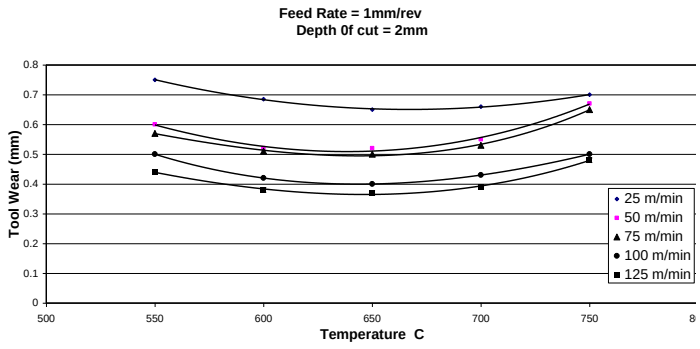
شكل(٨):- تأثير طاقة الليزر على مخروطية الثقب



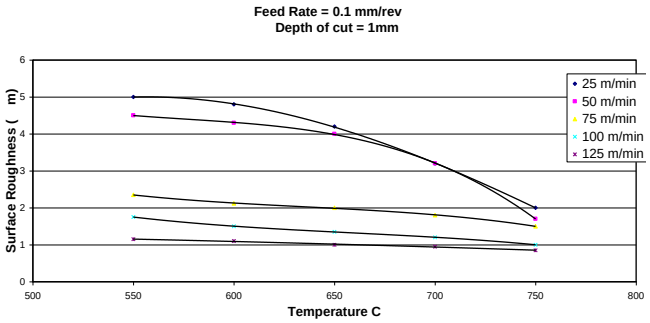
شكل(٩):- تأثير كثافة القدرة على عمق الثقب.



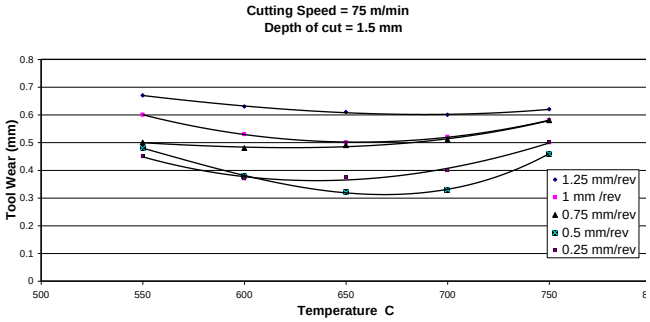
شكل(١٠):- تأثير انفراجية أشعة الليزر على أبعاد الثقب.



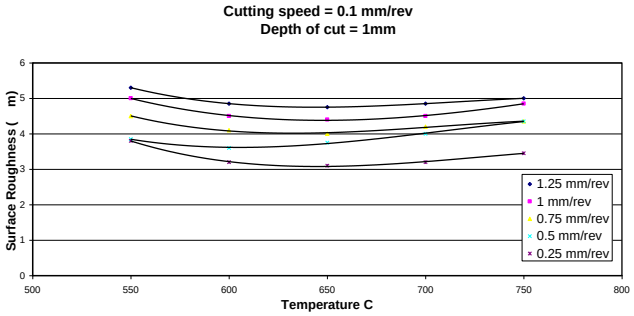
شكل(11):- تأثير سرعة القطع على مقدار البلى (السوفان) لوجه العدة باختلاف درجات الحرارة العالية



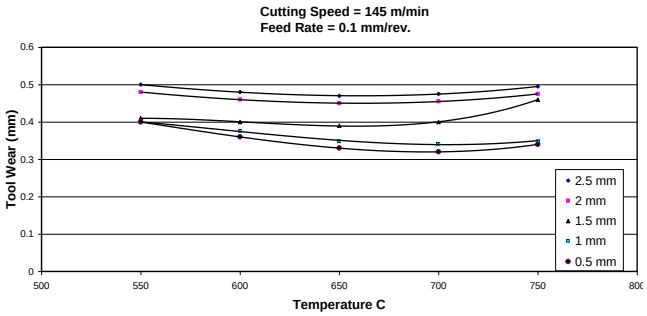
شكل(12):- تأثير سرعة القطع على مقدار خشونة السطح باختلاف درجات الحرارة العالية



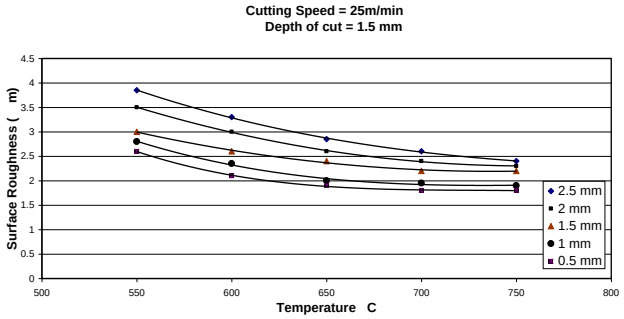
شكل(13):- تأثير معدل التغذية على مقدار البلى (السوفان) لوجه العدة باختلاف درجات الحرارة العالية



شكل(14):- تأثير مقدار التغذية على مقدار خشونة السطح باختلاف درجات الحرارة العالية



شكل(15) :- تأثير عمق القطع على مقدار البلى (السوفان) لوجه العدة باختلاف درجات الحرارة العالية.



شكل(16)تأثير عمق القطع على مقدار خشونة السطح باختلاف درجات الحرارة العالية.

Effect of Non-Conventional Cutting Methods on Hole Deviation and Surface Integrity

Mustafa Ahmed Rajab[1]; Ahmed Shihab Ahmed[2]

[1]Department of Mechanical, Technical Institute / Baquba
[2]Department of Mechanical Engineering, College of Engineering, University of Diyala

ABSTRACT: - The results as shown in electrical discharge drilling that surface roughness and metal removal rate increase when current value increases, as well as the results indicated clearly, that the drilling depth of electrical discharge was found to be efficient for deviation of hole dimension between upper and lower surface. Also, the results as showed 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 the hole taper was affected by the laser energy, the focusing position and focal length of the lens used. However, in hot machining, the tool wear decreases with increasing cutting speeds. The surface of the machined steels was found to improve with in piece work temperature. Also, the results indicate that in hot machining, the tool wear increases in feed rate. It is possible too at any temperature the surface finish deteriorates with increase feed and depth of cutting. The results or this research also shows that the tool wear and surface roughness decrease with increasing piece work Temperature especially when it is compared with the machining at room temperature.