تأثير تيار من غاز النيتروجين في تثقيب الفولاذ المقاوم للصدأ المزدوج AISI 316 L بالليزر النبضي [+]

عدي محمود عبد الحسين [*] عدنان شمخي جبر [**]

المستخلص:

تم في هذا البحث دراسة تأثير تيار من غاز النيتروجين المضغوط بمقدار (6 bar) في زيادة كفاءة عملية التثقيب بالليزر النبضي (Nd-Yag) عند تسليطه من اسفل العينة. وتبين أن لهذا الضغط دور مؤثر في تحسين عملية التثقيب من حيث زيادة في عمق الثقوب واقطارها ويقلل عدد النبضات اللازمة لنفوذ الثقوب اضافة لنظافة الجدران الداخلية للثقوب وانتظام اشكالها. يساعد تيار الغاز المضغوط بدفع المعدن المنصهر الى خارج الثقب قبل تجمده مما يعطي تلك التأثيرات المذكورة.

THE EFFECT OF NITROGEN CURRENT ON THE DRILLING OF AISI 316L DUPLEX STAINLESS STEEL BY PULSED LASER

Adnan Shamkhy Jabur **Audy Mahmood Abdulhusain**

Abstract:

In this research, the effect of (6 bar) pressurized Nitrogen gas current, when it is applied from bottom; on the increasing the efficiency of drilling process of AISI 316 L by Nd-YAG pulsed laser was studied. It was found that, the pressurized gas has an effective role in improvement of drilling process in both increasing the holes depth and diameter and decreasing the pulses number required for running out the holes, in addition to the cleaning and regularity of internal walls of holes. The pressurized gas current forces the liquid metal outside the hole before solidification that give these effects.

المقدمة:

استخدم الليزر في معاملة سطوح المواد الهندسية منذ اكثر من ثلاثة عقود، وبخلاف الطرق التقليدية التي تستخدم لغرض محدد، فأن تقنية الليزر نفسها ممكن أن تستخدم لعدة اغراض مثل التسخين او الصهر او التبخير...الخ ولمدى واسع من المواد الهندسية (1). ومن بين اولى التطبيقات الصناعية لليزر هو استخدامها في التثقيب والذي ممكن من الحصول على ثقوب دقيقة من الصعب تنفيذها بالطرق التقليدية.

تمتاز عملية التثقيب بالليزر بعدة ميزات اهمها، امكانية الحصول على ثقوب دقيقة تصل اقطارها لأجزاء الميكرون ومائلة بزوايا قليلة عن السطح تصل لاقل من 10° وفي مواقع من الصعب الوصول اليها ، وامكانية تثقيب

[+] تاريخ استلام البحث 2001/3/1 , تاريخ قبول النشر 2001/10/3 .

[*] استاذ مساعد / قسم العلوم التطبيقية / الجامعة التكنولوجية .

[**] استاذ مساعد / قسم الهندسة الميكانيكية / جامعة كربلاء .

المواد الصلدة والهشة وعدم الحاجة للتماس المباشر مع العينة اضافة الى نظافة الطريقة وسرعة الانجاز العالية. ومع هذا فهنالك بعض المحددات في هذه التقنية كمحدودية العمق بسبب محدودية طاقة النبضة مما يستدعي استخدام نبضات متعددة والكلفة العالية للعملية والشكل المخروطي للثقب وتكثف المادة المنصهرة على السطح الداخلي والحافة مما يسبب عدم انتظام الثقب وخشونته(2).

النظرية:

ان تفاعل شعاع الليزر مع المادة يعتمد على عاملين اولهما، خواص الليزر مثل كثافة القدرة وزمن التشعيع، واخرى تتعلق بالمادة نفسها كالانعكاسية والامتصاصية والانتشارية والتوصيلية الحرارية. وعادة يتم اختيار ليزر ذو طول موجي يحقق اوطأ قيم للانعكاسية للمادة (3). ان الطاقة الممتصة تسبب انتقال الكترونات المادة الى مستويات طاقة اعلى من مستوياتها الابتدائية، وبسبب عملية التصادم تفقد هذه الالكترونات طاقتها بزمن قصير جدا يصل ل (10^{-13}) ثانية على شكل حرارة منبعثة ترفع من درجة المادة الى حالات التسخين او الانصهار او الغليان او توليد البلازما اعتمادا على العوامل السابقة الذكر. وفيما يلي تلخيص لاهم هذه الحالات:

1) التسخين:- يبدأ التسخين من سطح المادة ولذلك تكون حرارة السطح هي الاعلى دائما وتتناقص درجة الحرارة تدريجيا من السطح الى الداخل. ويمكن حساب ارتفاع درجة حرارة السطح (ΔT_s) من المعادلة التالية (4) :-

$$\Delta T_s = \frac{(1 - R)}{K} Ho \quad (\frac{4 Nt}{\Pi})^{1/2}$$

حيث أن (R) انعكاسية السطح و (H_o) كثافة قدرة الليزر و (K) التوصيلية الحرارية للمادة و (N) الانتشارية الحرارية و (t) زمن التشعيع.

2) الانصهار:- ان استخدام كثافة قدرة اعلى من (10^5 w/cm^2) تسبب زيادة سريعة في درجة الحرارة من درجة الحرارة الاولية (To) حتى تصل الى درجة الحرارة الاولية حتى تصل الى درجة حرارة الانصهار (Tm) وبزمن قصير (tm) تمثله المعادلة التالية:-

$$t_m = \frac{RK^2 (T_m - T_0)^2}{UNH_0^2 (1-R)^2}$$

حيث أن (U) هي الطاقة السطحية.

3) الغليان :- عندما تكون كثافة القدرة اعلى من (10^6 W/cm^2) فأن درجة حرارة السطح سترتفع بسرعة عالية لدرجة الغليان دون اعطاء الوقت لحصول المزيد من الانصهار ويؤدي تمدد حجم البخار المتكون لانفجار السائل وتطايره، حيث يتجمد على السطح وعلى الجدران الداخلية للثقب. ان عمق الثقب (d) يتناسب طرديا مع ضغط البخار المشبع (P_{sat}) حسب المعادلة التالية:-

$$d = \frac{\alpha . P_{sat} . T}{\rho (2 \Pi K T_o / m)^{1/2}}$$

حيث أن (α)لاهي معامل التبخير و (ρ) كثافة الطور المتكثف و (K) ثابت بولتزمان و (m) هي كتلة الجزء المتبخر و (T, T_o) هي درجات الحرارة الابتدائية والنهائية على التوالي.

الجزء العملي:

استخدم الليزر النديوم- ياك (Nd-YAG) النبضي ذو الطول الموجي (1.06) ميكرون وبزمن نبضة قدره(300) ميكرو ثانية مع استخدام عدسة ذات بعد بؤري (20) سم. وكما في الشكل (1) تثبت العينة وهي شريحة من الصلب المقاوم للصدأ (316L) ذات سمك 800 ميكرون فوق حجرة الضغط من اسفل العينة. تم قياس اقطار واعماق الثقوب الناتجة وتصويرها بأستخدام المجهر الضوئي. ولقد تم في هذا الجزء دراسة تأثير تيار من غاز النيتروجين المضغوط اثناء عملية التثقيب بالليزر على ما يلي:-

أ- عمق الثقوب .

ب- اقطار الثقوب .

ت- عدد النبضات اللازمة لنفوذ الثقوب.

النتائج والمناقشة:

أ) تاثير تيار الغاز المضغوط على عمق الثقب:-

يمثل الجدول (1) ظروف عملية التثقيب وعمق الثقوب لشريحتين احداهما تحت تأثير الضغط الجوي والاخرى تحت ضغط (6 bar) مع تشابه ظروف طاقة الليزر وعدد النبضات. ومن الاشكال (2،3) والتي تمثل صورة المقطع الطولي للثقبين يلاحظ أن الثقب تحت الضغط الجوي غير نافذ، اما تحت ضغط (6 bar) فهو نافذ على الرغم من تشابه الظروف الاخرى. يمكن تفسير دور الضغط في زيادة عمق الثقب ، انه تحت تأثير الضغط الجوي عند امتصاص السطح لطاقة الليزر ترتفع درجة حرارة منطقة التفاعل الى درجة الانصهار ثم التبخر ويستمر تغلغل الحرارة الى عمق معين وعند وصولها الى لدرجة التبخر تتمدد المادة وتنفجر وتدفع بعض المنصهر الى السطح، اما الباقي في الطبقات السفلى فسوف يتجمد قبل ان يدفع للخارج اما في الحالة الثانية فأن تيار الغاز المضغوط من اسفل العينة لا يسمح للطبقات السفلى المنصهرة والمتميعة من العودة للتجمد ثانية وانما يدفعها جميعا للخارج وبذلك يكون الثقب نافذ.

ب) تأثير تيار الغاز المضغوط على قطر الثقب:-

يمثل الجدول (2) ظروف نفس العملية السابقة ويختلف بأحتوائه على اقطار الثقوب على السطحين العلوي والسفلي والتي تم قياسها بواسطة المجهر بدلا عن عمق الثقوب. ولا يمكن اعتماد الشكلين (2،3) في قياس اقطار الثقوب او المقارنة بينها لان عملية القطع العمودي للثقبين لم تتم بصورة دقيقة من خلال مركز الثقبين وانما تم اجرائها فقط لتوضيح مدى نفوذ الثقوب. من الجدول (2) نلاحظ زيادة في القطر العلوي والقطر السفلي عند استخدام تيار الغاز المضغوط مقارنة مع عدم استخدامه. ومن الواضح ان تيار الغاز المضغوط

يمنع تجمد بقايا المنصهر على الجدار الداخلي والسطح، ويقذفه بقوة الى الخارج قبل ان يتجمد ، مما يسبب توسع الثقوب وتنظيفها وانتظام ابعادها وشكلها، وهذا يلاحظ في الشكلين (4،5).

ج) تأثير تيار الغاز المضغوط على اختزال عدد النبضات:-

يمثل الجدول (3) عمليات تثقيب للشريحة بأستخدام الغاز المضغوط وبدونه لطاقات مختلفة من الليزر. وتم حساب عدد النبضات اللازمة لنفوذ الثقوب. من هذا الجدول يلاحظ اولا ان زيادة طاقة الليزر تؤدي الى تقليل عدد النبضات اللازمة لنفوذ الثقوب تحت ظروف كلا الضغطين. ان زيادة طاقة الليزر تسبب زيادة الطاقة الممتصة وبالنتيجة زيادة حجم المعدن المتبخر وكمية المنصهر المقذوف خارج الثقب

وبذلك يزداد عمق الثقب لكل نبضة، وبالنتيجة يقل عدد النبضات اللازمة لنفوذ الثقب. وثانيا، يلاحظ أن استخدام تيار الغاز المضغوط يقلل كذلك من عدد النبضات اللازمة لنفوذ الثقب ، وهذا تم تفسيره في الفقرة (1). الشكل (6) يمثل العلاقة البيانية المستقاة من الجدول (3) بين طاقة الليزر وعدد النبضات اللازمة لنفوذ الثقب تحت ظروف الضغط الجوي والضغط (6 bar).

الاستنتاجات:

ان استخدام تيار من غاز النيتروجين المضغوط ب (6 bar) من اسفل العينة اثناء عملية التثقيب بالليزر النبضي يساعد في تحسين كفاءة العملية عبر ما يلي:

1- زيادة في عمق الثقوب.
2- زيادة في الاقطار عند الاسطح العلوية والسفلية للثقوب.
3- تنظيف وانتظام الجدران الداخلية واسطح الثقوب.
4- تقليل عدد النبضات اللازمة لنفوذ الثقوب.

المصادر:

1- J.C. Ion, H.R. Shercliff, M.F. Ashby, Acta Metall. Mater. 40(1992)1539.
2- M.V. Allmen, A. Blatter, Laser Beam Interactions with Materials, Ulrich Gosner, 2nd ed. (1998).
3- عدي محمود عبد الحسين ، سلام حسين علي ، شهاب احمد زيدان ، مجلة الهندسة .والتكنولوجيا العدد 4المجلد 20 (2001) 161
4- D.Berforte , M. levitt, The Industrial Laser Annual Handbook, Pennwell Book (1986).
5- A. Walter, Y. Yarbrough, J. Amer. Ceramic Soc. 75(1992)179.

جدول (1) تأثير الضغط على عمق الثقوب

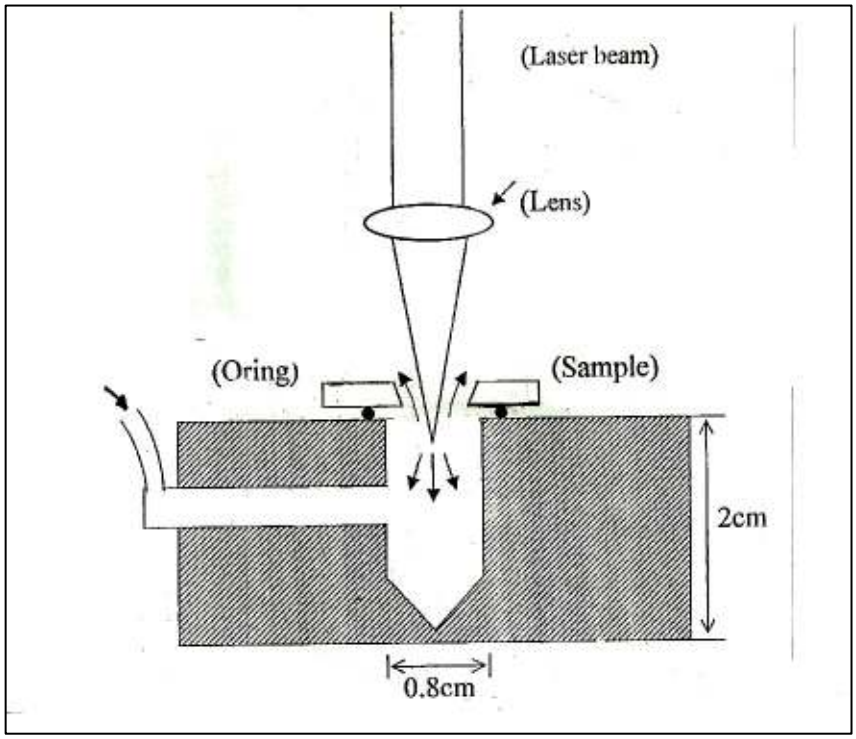
العمق (ميكرون)	عدد النبضات	الطاقة(جول)	الضغط (bar)
680	4	2	1
نافذ	4	2	6

جدول (2) تأثير الضغط على اقطار الثقوب

الضغط (bar)	الطاقة(جول)	عدد النبضات	القطر العلوي (ميكرون)	القطر السفلي (ميكرون)
1	2	4	618.6	246
6	2	4	631.9	270.4

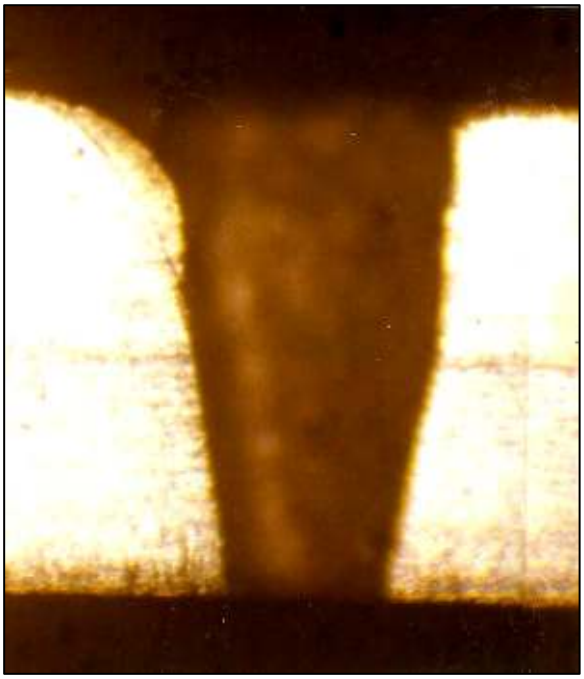
جدول (3) تأثير الضغط وطاقة الليزر على عدد النبضات اللازمة لنفوذ الثقب

الطاقة(جول)	الضغط (bar)	عدد النبضات
0.95	1	7
	6	5
2	1	5
	6	3
2.2	1	4
	6	2
2.2	1	3
	6	1

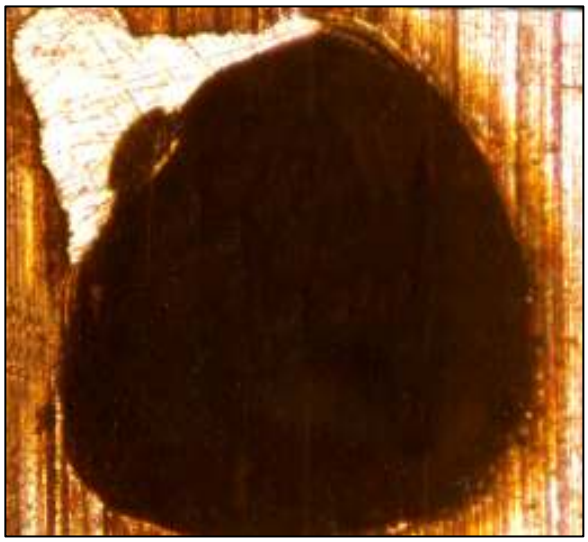


شكل (1) منظومة التثقيب تحت تأثير تيار من غاز النيتروجين

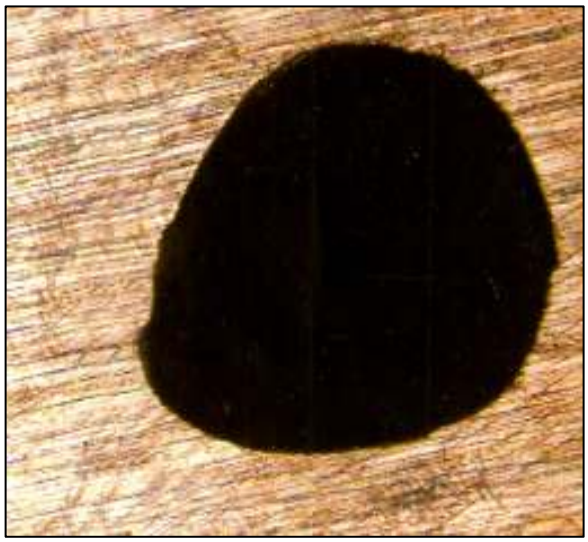
شكل (2) مقطع طولي لثقب في الفولاذ المفاوم للصدأ تحت تأثير الضغط الجوي



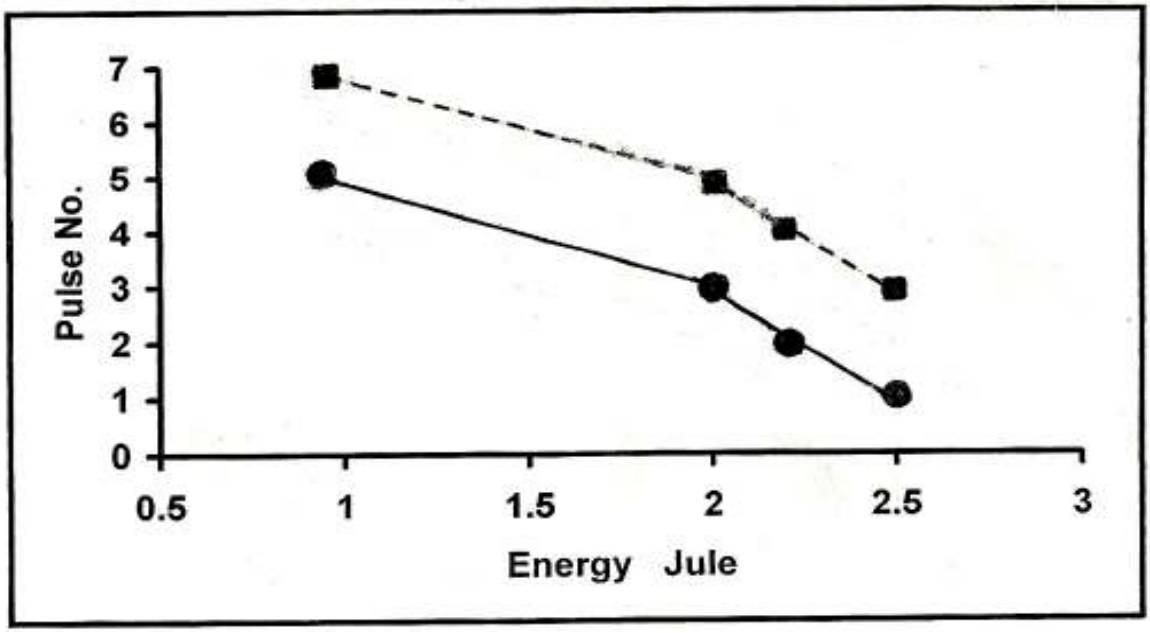
شكل (3) مقطع طولي لثقب في الفولاذ المفاوم للصدأ تحت تأثير تيار من غاز النيتروجين



شكل (4) السطح العلوي لثقب في الفولاذ المقاوم للصدأ تحت تأثير الضغط الجوي



شكل (5) السطح العلوي لثقب في الفولاذ المقاوم للصدأ تحت تأثير تيار من غاز النيتروجين



شكل (6) تأثير الضغط وطاقة الليزر على عدد النبضات اللازمة لنفوذ الثقوب