

## أستخدام فحوصات الكلال لتقييم الاجهادات المتبقية الناتجة من المعاملة الليزرية لسبيكة الألمنيوم ١٠٦٠

د . سعد عباس الصراف \* د . باسم احمد طه الطيار \*\* ضياء حسن جواد \*\*\*  
تاريخ التسلم: ٢٠٠٥/٦/١  
تاريخ القبول: ٢٠٠٧/٦/١٠

### الخلاصة

تهدف الدراسة الحالية لتقييم الاجهادات المتبقية بأستخدام طريقة فحوصات الكلال لسبيكة الألمنيوم ١٠٦٠. أنجز الشغل العملي تحت فحوصات أحمال متغيرة السعة مع وبدون المعاملة الليزرية ( تعرض سطح السبيكة الى ضربات بالليزر ثم بدون التعرض بالليزر ). وتم التوصل بعد إجراء هذه الدراسة الى الاستنتاجات التالية :-  
ان الاجهادات المتبقية هي من النوع الشدي والتي تسبب ضعف وتدني في الخواص الميكانيكية وفي تصرف الكلال. والى أن قيمة الاجهادات المتبقية هي أقل من واحد ميكاباسكال ( $1\text{MPa}$ ).

كلمات مرشدة : هندسة ميكانيكية ، تصميم مكائن ، سبيكة ألمنيوم معاملة بالليزر .

### Using Fatigue Testing to Evaluate Residual Stresses Resulting From Laser Treatment for ١٠٦٠ Aluminium-Alloy.

#### Abstract

The aim of the present study is to estimate the residual stresses through fatigue testing of ١٠٦٠ Aluminium-Alloy. The experimental work has been carried out under variable amplitude tests with and without laser treatment (the surface of the alloy is subjected to pulses of laser then without laser). The conclusions derived from this study are:- The residual stresses are of the tensile type which lead to deterioration of mechanical properties and fatigue behavior, and that the value of the residual stresses is less than one Megapascal ( $< 1\text{MPa}$ ).

- ١- الرموز المستخدمة وتعريفها :  
A: قيمة ثابتة تعتمد على نوع المعدن وتستخرج عمليا .  
E: معامل المرونة  
E% : المطيلية  
I: عزم القصور الذاتي ( $\text{mm}^4$ )  
M: عزم الانحناء ( $\text{N.m}$ )  
Nf: عدد دورات فشل المعدن (دورة)  
y: نصف البعد العمودي للعينة المسطحة عليها الاجهاد ( m )  
 $\alpha$  : قيمة ثابتة تعتمد على نوع المعدن وتستخرج عمليا  
 $\sigma_b$  : اجهاد الانحناء (MPa)  
 $\sigma_f$  : اجهاد الفشل او مقاومة الكلال (MPa)  
 $\sigma_u$  : الاجهاد الاقصى للمعدن (MPa)  
 $\sigma_y$  : اجهاد الخضوع (MPa)  
 $\tau_u$  : اقصى اجهاد للقص (MPa)

\* وزارة التربية  
\*\* قسم التعليم التكنولوجي / الجامعة التكنولوجية  
\*\*\* وزارة العلوم والتكنولوجيا

## ٢ - المقدمة

ظهر منذ عقد الستينات في القرن الماضي بدايات الليزر وتطبيقاته في مجال اللحام والقطع والتصليد والتنقيب . وقد انتشر الكثير من البحوث والدراسات التي تخص الليزر وتأثيره على التركيب المجهرى والصلادة ومقاومة الكلال والبلى . لقد حققت الابحاث والدراسات الليزرية تحسنا ملحوظا في الصلادة المايكروية , ولكن هذا التحسن لم يكن مطلقا في المواصفات الكلالية للمعادن بشكل عام . فقد اشارت بعض الدراسات الى تحسن هذه المواصفات بينما اشارت دراسات اخرى الى تدني هذه المواصفات . وهناك دراسات ثالثة اشارت الى عدم تأثير الليزر على المواصفات الكلالية للمعدن [٢٠١] . تم دراسة تأثير الليزر بواسطة ثاني اوكسيد الكربون المستمر وبقدرة (٤٥٠w) وكثافة قدرة

(٠,١٩w/cm<sup>2</sup>) . وقد لوحظ وجود تحسن في منحنى العمر للمعدن المستخدم وهو فولاذ كاربوني ١٠٤٥ حيث تحسن حد الكلال بمقدار (٣٠%) [٣] . أجريت دراسة اخرى على سبيكة الألمنيوم T٣-٢٠٢٤ معاملة بالليزر لتصنيع تقوي بواسطة الليزر وقورنت مع نفس السبيكة بعمل التقوي بالطريقة التقليدية وتبين حصول ارتفاع في الخواص الكلالية للسبيكة المتقبة بالليزر [٤] . اما الدراسة التي اجريت على سبيكة الألمنيوم ١٠٦٠ مادة البحث وعلى سبيكة النحاس بأستخدام نبضات من الليزر . فقد توصلت الدراسة الى تدني ملحوظ في الخواص الكلالية وتباطؤ في سرعة الشقوق لسبيكة الألمنيوم ١٠٦٠ والى تدني الخواص الكلالية لسبيكة النحاس وظهور شقوق تؤدي الى الفشل السريع [٥] .

يهدف هذا البحث الى دراسة الاجهادات المتبقية ومعرفة انواعها وقيمها وتأثيراتها على سبيكة الألمنيوم ١٠٦٠ تحت تأثير تعرضها لضربات

( نبضات ) الليزر نيديوم \_ زجاج ومقارنتها مع تصرف نفس السبيكة بدون تعرضها لنفس ضربات ( نبضات ) الليزر وذلك بأستخدام طريقة فحوصات الكلال .

## ٣ - الجانب العملي

## ٣-١- الليزر :

تم استخدام ليزر نيديوم\_ زجاج Nd-Glass والذي يعمل بشكل نبضي وبطول موجي ١,٠٦μm مايكرومتر وزمن نبضي ٣٠٠μs مايكرو ثانية والوسط الفعال لهذا الليزر هو قضيب من النيديوم \_ زجاج بطول ٢٠cm وقطر داخلي ٢cm ويعتبر هذا الليزر من ليزرات الحالة الصلبة ويمتاز بكفائه الوائئة من حيث الانتاج مقارنة مع الليزرات الاخرى .

## ٣-٢- المعدن المستخدم :

تم استخدام سبيكة الألمنيوم ١٠٦٠ حيث يبين الجدول (١) التركيب الكيماوي بنسب وزنية مئوية ( wt% ) لهذه السبيكة . أما المواصفات الفيزيائية لسبيكة الألمنيوم ١٠٦٠ فكما مبينة في الجدول (٢) . والمواصفات الميكانيكية لنفس السبيكة المستخدمة فكما مبينة في الجدول (٣) . والخواص الفيزيائية لقضيب الليزر المستخدم في البحث الحالي فمبينة في الجدول (٤) [٥] . يمثل الشكل (١) مخططا توضيحيا لمنظومة ( الليزر نيديوم \_ زجاج Nd-Glass ) مع الاجهزة والتوصيلات الملحقة بها التي أستخدمت في التعرض بالضرب بالليزر لغرض انجاز البحث الحالي [٤] .

## ٣-٣- الجهاز المستخدم والعينات :

تم أستخدم جهاز فحص الكلال نوع Avery Fatigue Testing Machine ( ٧٣٠٥ ) بتردد ٥٠HZ وسرعة دوران ١٤٢٠ rpm وبأحمال عكسية انحنائية Reversed Bending حيث يمكن حساب قيمة الاجهاد المسلط على العينة من المعادلة التالية :

$$\sigma = (M \cdot y) / I \dots \dots \dots (1)$$

الميكانيكية وتدني الخواص الكلالية للسبيكة وتبقى هذه الاجهادات الحرارية الشدية على شكل اجهادات ضارة تعمل على تدني الخواص الميكانيكية للسبيكة. وتتفق هذه الاستنتاجات مع ماتوصل اليه الباحثون PEIYAN وزملاؤه [٦] و CAPIO [٧]. كما ويتضح من الجدولين (٦،٥) من ان الاجهادات الشدية الناتجة من تعرض سطح السبيكة للضرب بالليزر تؤدي الى تدني المواصفات الميكانيكية والكلالية. ويمكن أستخراج قيم هذه الاجهادات بأستخدام معادلة العمر التي تم التوصل اليها وكما مبينة في الملحق A المرفق في نهاية هذا البحث وهي :

$$\left( \sigma_f = \epsilon \cdot (N_f)^{-0.039} \right)$$

حيث يمكن استخراج الاجهاد المكافئ في حالة الفحص تحت الاحمال ثابتة السعة من خلال عدد دورات الفشل وذلك بتعويض عدد دورات الفشل قبل وبعد التعرض للضرب بالليزر لمعرفة الاجهادات الشدية المتبقية. ويمثل الجدول (٧) القيم العملية للاجهادات الشدية المتبقية الناتجة من تعرض سطح السبيكة للضرب بالليزر من تراكم الضرر من الاجهادات عالي الى واطيء. بينما يمثل الجدول (٨) القيم العملية للاجهادات الشدية المتبقية الناتجة من تعرض سطح السبيكة للضرب بالليزر من تراكم الضرر من الاجهادات واطيء الى عالي.

يتضح مما ورد في الجدولين (٨،٧) من ان الاجهادات المتبقية هي شدية لانها تمثل الاجهاد المكافئ بعد التعرض للضرب بالليزر مطروحاً منه الاجهاد المكافئ قبل التعرض للضرب بالليزر. ويعود السبب في ذلك الى ان العلاقة بين عدد دورات

الفشل  $N_f$  واجهاد الفشل  $\sigma_f$  هي علاقة عكسية كما جاء في معادلة العمر. حيث ان

أما شكل العينات فكانت مستطيلة وابعادها مبينة في الشكل (٢).

#### ٤ - النتائج العملية

سيتم في هذا المقطع عرض النتائج التي تم الحصول عليها عمليا لفحوصات الكلال لسبيكة الألمنيوم ١٠٦٠ بصورة جداول او اشكال. وستقارن النتائج العملية هذه مع نتائج نظرية لنفس المعدن المستخدم حيث يمثل الشكل (٣) ثلاثة صور لنفس المنطقة المراد تعرضها للضرب بالليزر. فتمثل الصورة الاولى المنطقة قبل تعرضها للضرب بالليزر بطاقة (١,٢٥ J). بينما تمثل الصورة الثانية المنطقة بعد تعرضها للضرب بصرية (نبضة) واحدة بالليزر وتمثل الصورة الثالثة المنطقة بعد تعرضها للضرب بضربتين (نبضتين) بالليزر.

لقد تم اختيار العينات قبل وبعد تعرضها لضربتين (نبضتين) من الليزر بأجهادات كلل الضرر المتراكم وكما مبين في الجدول (٥) من عالي الى واطيء. ويبين الشكل (٤) كيفية اجراء تجربة اجهادات كلل الضرر المتراكم على العينات. في حين يمثل الجدول (٦) نتائج أجهادات كلل الضرر المتراكم من واطيء الى عالي قبل وبعد تعرض العينات للضرب بالليزر.

#### ٥ - مناقشة النتائج

يتضح من الشكل (٣) بأن تعرض سطح سبيكة الألمنيوم ١٠٦٠ للضرب بالليزر بصرية (نبضة) واحدة يؤدي الى وصولها لنقطة الانصهار بعد تعرضها الى طاقة ليزرية مقدارها

$$(2,7 * 10^6 \text{ w/cm}^2)$$

ومن ثم الى التبخر مما يؤدي الى ازالة جزء من المعدن في مركز البؤرة والى تشويه في المنطقة القريبة من البؤرة نتيجة للحرارة العالية التي تتعرض لها، لكن لم تظهر اية شقوق. اما في حالة تعرض نفس السبيكة للضرب بالليزر بضربتين (نبضتين) فيؤدي ذلك الى ظهور شقوق على سطح السبيكة وذلك بسبب الطاقة الممتصة من قبل السبيكة وتوليد اجهادات شدية حرارية تعمل على اضعاف الخواص

٦-٣ - أدى استخدام الليزر للتعامل مع سبيكة الألمنيوم ١٠٦٠ الى تدني خواصها الميكانيكية .

#### ٧- الملحق A

استخراج معادلة منحني العمر

$$\sigma_f = A (N_f)^\alpha$$

تم فحص (٣) عينات عند نصف (1/2)

الاجهاد الاقصى ( $\sigma_u$ ) للمعدن كما في جدول (٣) . وتم الحصول على دورات الفشل تحت الاحمال ثابتة السعة وكانت على التوالي (١٠١٠، ١١٧٠، ٨٧٠) دورة بعد ان تم اجراء الفحص عملياً على هذه العينات وأخذ معدل هذه القيم وكانت القيمة المتوسطة هي :

$$N_f = 1017 \text{ revolution}$$

بأخذ القيم التالية من الجدول (٣) :

الاجهاد الاقصى للمعدن هو :

$$\sigma_u = 70 \text{ MPa}$$

(1/2) نصف الاجهاد الاقصى للمعدن الذي تم فحص العينات الثلاثة عملياً عنده هو

$$\sigma_{u/2} = 35 \text{ MPa} = \sigma_f$$

مقاومة الكلال والذي يمثل اجهاد الفشل هو :

$$\sigma_f = 21 \text{ MPa}$$

عدد دورات الفشل  $N_f$  التي أخذت عندها

مقاومة الكلال  $\sigma_f$  هي :

$$N_f = 5 * 10^8 \text{ revolution}$$

$$\sigma_f = A(N_f)^\alpha \dots\dots (1-A)$$

بأخذ لوغاريتم الطرفين نحصل على Log

$$\sigma_f = \text{Log} A + \alpha \text{ Log} N_f \dots$$

$$(2-A)$$

اجهاد الفشل  $\sigma_f$  يساوي حاصل قسمة كمية ثابتة هي (٤٦) على عدد دورات الفشل  $N_f$  مرفوعة لقوة ثابتة . فكلما زادت  $N_f$  كبرت قيمتها بعد الرفع وبذلك يكبر مقام المعادلة

ويؤدي ذلك الى تناقص قيمة  $\sigma_f$  والعكس صحيح .

وبمقارنة هذه النتائج مع نتائج الباحث [٨] AMEUR لسبيكة الألمنيوم ٢٠٢٤ يتضح أن الاجهادات المتبقية للباحث [٨] تأخذ العلامة السالبة عند طرح الاجهادات المكافئة أي تكون اجهادات ضغطية . حيث أستخدم الباحث [٨] تصليد السطح بواسطة الفذف بالكريات المعدنية وتوصل الى النتائج المعروضة في الجدول (٩) والذي يبين النتائج العملية للاجهادات الضغطية باستخدام عملية الفذف بالكريات المعدنية لمدة (٦) دقائق .

يتضح ان عملية التصليد لسبيكة الألمنيوم ٢٠٢٤ أدت الى تحسن مواصفاتها الميكانيكية بينما ادت الى تدني هذه المواصفات لسبيكة الألمنيوم ١١٠٠ و ٥٠٥٢ نفس الظروف للباحث [٨] نفسه اما فيما يخص معاملة الليزر لسبيكة الألمنيوم ١٠٦٠ والتي أستخدمت في هذا البحث فقد أدت هذه المعاملة الى تدني الخواص الميكانيكية بينما حسنت من الخواص الميكانيكية لبعض السبائك الاخرى كما هو الحال مع سبائك الألمنيوم-T3 [٧] ٢٠٢٤ والفولاذ [١٠،٩] .

#### ٦- الاستنتاجات

٦-١- يمكن تخمين الاجهادات المتبقية سواء كانت شديدة ام ضغطية وذلك بأستخدام طريقة فحوصات الكلال .

٦-٢- أدت الفحوصات العملية الى تخمين قيم الاجهادات الشديدة المتبقية نتيجة التعامل بالليزر بحيث لم تتجاوز واحد ميكاباسكال (1MPa) .

أستخدم فحوصات الكلال لتقييم الاجهادات المتبقية الناتجة من المعاملة الليزرية لسبيكة الألمنيوم ١٠٦٠

$\text{Log } A = 1,661346 \dots (7-A)$   
وبأخذ معكوس اللوغاريتم نحصل على قيمة  $A$  وتكون قيمتها هي :

$$A = 45,8508$$

وبالتقريب تصبح قيمة  $A$  هي :

$$A = 46 \dots (8-A)$$

واخيراً تصبح معادلة منحني العمر لسبيكة الألمنيوم ١٠٦٠ موضوع البحث الحالي هي :

$$\sigma_f = 45,8508 (N_f)^{-0,38987} \dots$$

(٩- $A$ )

وبالتقريب تصبح المعادلة هي :

$$\sigma_f = 46 (N_f)^{-0,39} \dots (10-A)$$

#### المصادر

[١] Singh, H.B. Copley, S.M. & BASS.M. "Fatigue Resistance of Laser Heat Treated ١٠٤٥ Carbon Steel" Metallurgical Transactions, Vol. ١٢A. PP. ١٣٨-١٤٠, Jan. (١٩٨١).

[٢] Kikuchi, M. Hisoda, H. Kuroda, Y. & Moritsu, K. "The Influence of Laser Heat Treatment Technique on Mechanical Properties" Proc. of ١<sup>st</sup> Joint U.S./ Japan Int. Laser Proc. Conf. Toledo, Ohio, Laser Inst. of America P. ١٧٤, (١٩٨١).

[٣] Lino Y., Shimoda, K., "Effect of Overlap Pass Tempering on Hardness and Fatigue Behavior in Laser Heat Treatment of Carbon Steel" Journal of Materials Science Letters, Vol. ٦, pp. ١١٩٣ - ١١٩٤, (١٩٨٧).

[٤] ضياء حسن جواد " الكلال في المعادن المتبقية بالنبضات الليزرية " رسالة ماجستير - كلية الرشيد للهندسة والعلوم - قسم الهندسة الميكانيكية - الجامعة التكنولوجية (٢٠٠٤).

[٥] Von M., Boltter, A. "Laser-Beam Interactions With Materials" Springer, ٢nd. Ed., (١٩٩٨)

بالتعويض في المعادلة (٢- $A$ ) بقيم معدل الفحوصات العملية لدورات الفشل  $N_f$  على العينات الثلاثة و (١/٢) نصف الاجهاد

الاقصى  $\sigma_f$

$$\sigma_f = 35 \text{ Mpa}, N_f = 1017 \text{ rev.}$$

وكذلك بالتعويض في نفس المعادلة

(٢- $A$ ) بقيم  $N_f$  و  $\sigma_f$

من الجدول (٣) :

$$\sigma_f = 21 \text{ MPa}, N_f = 5 \times 10^4 \text{ rev.}$$

نحصل على التالي :

$$\text{Log } (35) = \text{Log } (A) + \alpha$$

$$\text{Log } (1017) \dots (3-A)$$

$$\text{Log } (21) = \text{Log } (A) + \alpha \text{ Log } (5 \times 10^4) \dots (4-A)$$

بأيجاد قيم اللوغاريتمات وبالتعويض نحصل على التالي

$$1,5441 = \text{Log } A + \alpha *$$

$$3,00732 \dots (3'-A)$$

$$1,3222 = \text{Log } A + \alpha *$$

$$8,69897 \dots (4'-A)$$

وبطرح المعادلة (٤'- $A$ ) من المعادلة

(٣'- $A$ ) نحصل على التالي :

$$0,2219 = \alpha * (-0,69165) \dots (5-A)$$

ومنها نحصل على قيمة  $\alpha$  وهي :

$$\alpha = -0,38987$$

وبالتقريب تصبح قيمة  $\alpha$  هي :

$$\alpha \sim -0,39 (6-A)$$

$A$ )

وبتعويض قيمة  $\alpha$  من المعادلة اعلاه في أي

من المعادلتين (٣'- $A$ ) أو (٤'- $A$ ) ينتج

أن :

$$1,3222 = \text{Log } A +$$

$$(-0,38987) * (8,69897) \dots (7-A)$$

$$\text{Log } A = 1,3222 + 0,339147$$

أستخدام فحوصات الكلال لتقييم الاجهادات المتبقية  
الناجمة من المعاملة الليزرية لسبيكة الألمنيوم ١٠٦٠

مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد ٢٥، العدد ٩، ٢٠٠٧

[٩]Majid, M.A. & FAWZI, S.A.H.  
"Effect of Laser Treatment on the  
Fatigue Strength of Carburised  
Steel", Eng. & Tech.Journal, Vol.١٧,  
No.٧, PP.٧٤١-٧٤٩, (١٩٩٨).

[١٠]Hassan, T.A. "Study of  
Mechanical Properties of Steel (sus  
٤١٠, sus ٢٠١, sus ٣٠٤) Treated With  
Nd- Glass Laser" M.Sc.Thesis, Univ.  
of Baghdad, (١٩٩٤)

[٦] Peiyan, H.Chun, L. Qiquong,  
Z.Guangi,L. & LEE, H. "Effect of  
Laser Beam Radiation on Fatigue  
Crack Growth Behavior" Fatigue  
Fracture of Engineering Materials &  
Structure, Vol.٨, No.١, PP.٨٩-٩٩,  
(١٩٨٤).

[٧]Capiro, F.J. "Study of the Fatigue  
Behavior of Laser Machined ٢٠٢٤T٣  
Aeronautic Aluminium Alloys"  
Applied Surface Scienc(٢٠), P.٢٩٩,  
(٢٠٠٣).

[٨] Ameer, M.F. " Shot Peening  
Effect in Particular A/C Aluminium  
Alloys " M.Sc. Thesis, Mech. Eng .  
Dept. Univ. of Technology (٢٠٠٢).

مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد ٢٥، العدد ٩، ٢٠٠٧. استخدم فحوصات الكلال لتقييم الاجهادات المتبقية الناتجة من المعاملة الليزرية لسبيكة الألمنيوم ١٠٦٠

جدول (١) التركيب الكيميائي لسبيكة الألمنيوم ١٠٦٠ بنسب وزنية مئوية (Wt%)

نوع الفحص	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	V	Sn	Zn	اخرى	AL
العملي	—	٠,١٨	٠,٣٠	٠,٠٣٥	—	—	<٠,٠٠١	<٠,٠٠٢	—	٩٩,٦
القياسي	٠,٠٥ Max.	٠,٢٥ Max.	٠,٤ Max.	٠,٠٥ Max.	٠,٠٥ Max.	٠,٠٥ Max.	—	٠,٠٧ Max.	٠,٠٣ Max.	٩٩,٥

جدول (٢) المواصفات الفيزيائية لسبيكة الألمنيوم ١٠٦٠

الموصلية الحرارية (K) W/m.k	الكثافة (ρ) Kg/m <sup>٣</sup>	الحرارة النوعية (Cp) J/Kg.K	الانتشارية الحرارية (N) Cm <sup>٢</sup> /s	درجة الانصهار (Tm) C°	معامل التمدد الحراري (α) μ m/m.k
٢٣١	٢٧٠٥	٩٠٠	١,٠	٦٥٧	٢٣,٦

جدول (٣) المواصفات الميكانيكية لسبيكة الألمنيوم ١٠٦٠

معامل المرونة E		مقاومة الكلال σ <sub>f</sub> عند N <sub>f</sub> =٥*١٠ <sup>٨</sup> rev.		الاجهاد الأقصى للقصر τ <sub>u</sub>		المطيلية E%	اجهاد الخضوع σ <sub>y</sub>		الاجهاد الأقصى للمعدن σ <sub>u</sub>		المواصفات الميكانيكية
Psi	Gpa	Ksi	Mpa	Ksi	Mpa		Ksi	Mpa	Ksi	Mpa	
١٠,٣*١٠ <sup>٦</sup>	٧١	٢,٩	٢٠	٧,٢٥	٥٠	٤١	٤,٣٥	٣٠	١٠,١٥	٧٠	العملية
١٠,٦*١٠ <sup>٦</sup>	٧٣	٣	٢١	٧	٤٨	٤٣	٤	٢٨	١٠	٦٩	القياسية

جدول (٤) الخواص الفيزيائية لقضيب الليزر المستخدم في البحث الحالي [٥]

نوع الزجاج	تركيز النيديوم	تركيز أيون النيديوم	الكثافة	معامل الانعكاسية	طاقة الفوتون	الموصلية الحرارية	الطول الموجي	زمن تناوّل الحزمة
Glass Type	Nd Concentration	Nd Ion Concentration	Density	Reflective Index	Photon Energy	Thermal Conductivity	Wave Length	Floresent Decay Time
سيليكات سيليكات Silicate	٣,١ ( Wt%)	٢,٨ Cm <sup>-٣</sup>	٢,٥٤٧ gm/Cm <sup>٣</sup>	١,٥٥٥	١,٨٨ * ١٠ <sup>١٦</sup> J	١,٣*١٠ <sup>-٣</sup> W/Cm.k	١,٠٦٢٣ Å	٣٠٠ μ sec

جدول (٦) نتائج عينات اجهادات كلل  
الضرر المتراكم من واطيء الى عالي قبل  
وبعد تعرض العينات للضرب بالليزر

قبل تعرض العينات للضرب بالليزر			
عدد دورات الفشل (Nf)	اجهادات الضرر المتراكم (Mpa)		رقم العينة
	اجهاد عالي (Mpa)	اجهاد واطيء (Mpa)	
٢٢٥٠	٢٩	١٨	١١
٣٧١٠	٢٥	١٦	١٢
٢٥٢٠	٢٥	١٥	١٣
٢٠٠٠	٢٧	١٦	١٤
١٧٥٠	٣٠	١٧	١٥

جدول (٥) نتائج عينات اجهادات كلل  
الضرر المتراكم من عالي الى واطيء قبل  
وبعد تعرض العينات للضرب بالليزر

قبل تعرض العينات للضرب بالليزر			
عدد دورات الفشل (Nf)	اجهادات الضرر المتراكم (Mpa)		رقم العينة
	اجهاد واطيء (Mpa)	اجهاد عالي (Mpa)	
١١٧٠	١٨	٢٩	١
١٩٢٥	١٦	٢٥	٢
١٨٢٠	١٥	٢٥	٣
١٦١٠	١٦	٢٧	٤
١٠٢٠	١٧	٣٠	٥

بعد تعرض العينات للضرب بالليزر (ضربتين)			
عدد دورات الفشل (Nf)	اجهادات الضرر المتراكم (Mpa)		رقم العينة
	اجهاد عالي (Mpa)	اجهاد واطيء (Mpa)	
١١٥٠	٢٩	١٨	١٦
١٨٢٠	٢٥	١٦	١٧
٢٠٠٠	٢٥	١٥	١٨
١٥٢٠	٢٧	١٦	١٩
٩٢٠	٣٠	١٧	٢٠

بعد تعرض العينات للضرب بالليزر (ضربتين)			
عدد دورات الفشل (Nf)	اجهادات الضرر المتراكم (Mpa)		رقم العينة
	اجهاد واطيء (Mpa)	اجهاد عالي (Mpa)	
٧١٠	١٨	٢٩	٦
١٠٦٠	١٦	٢٥	٧
١١٥٠	١٥	٢٥	٨
١٠٠٠	١٦	٢٧	٩
٦٠٥	١٧	٣٠	١٠

مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد ٢٥، العدد ٩، ٢٠٠٧ استخدام فحوصات الكلال لتقييم الاجهادات المتبقية الناتجة من المعاملة الليزرية لسبيكة الألمنيوم ١٠٦٠

الجدول (٧) القيم العملية للاجهادات الشدية المتبقية الناتجة من تعرض سطح السبيكة للضرب بالليزر من تراكم الضرر من الاجهادات عالي الى واطيء

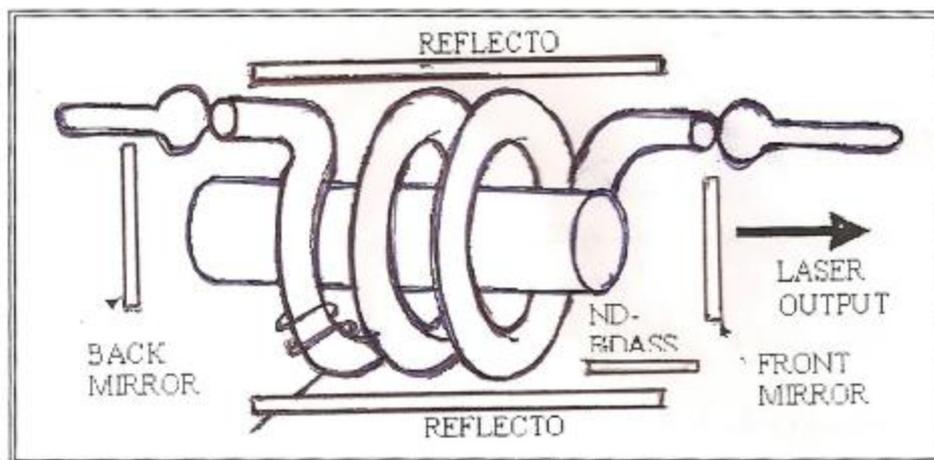
الاجهادات الشدية المتبقية (Mpa)	الاجهاد المكافيء بعد التعرض للضرب بالليزر (Mpa)		الاجهاد المكافيء قبل التعرض للضرب بالليزر (Mpa)	
	واطيء الى عالي (Mpa)	رقم العينة	واطيء الى عالي (Mpa)	رقم العينة
٠,٦٨٨	٣٥,٦١٨	٦	٣٤,٩٣	١
٠,٨٦٦	٣٥,٠٦٦	٧	٣٤,٢٠	٢
٠,٦٥٥٣	٣٤,٩٥٥٣	٨	٣٤,٣٠	٣
٠,٦٤٦	٣٥,١٤٦	٩	٣٤,٥٠	٤
٠,٧٢١	٣٥,٨٤١	١٠	٣٥,١٢	٥

الجدول (٨) القيم العملية للاجهادات الشدية المتبقية الناتجة من تعرض سطح السبيكة للضرب بالليزر من تراكم الضرر من الاجهادات واطيء الى عالي .

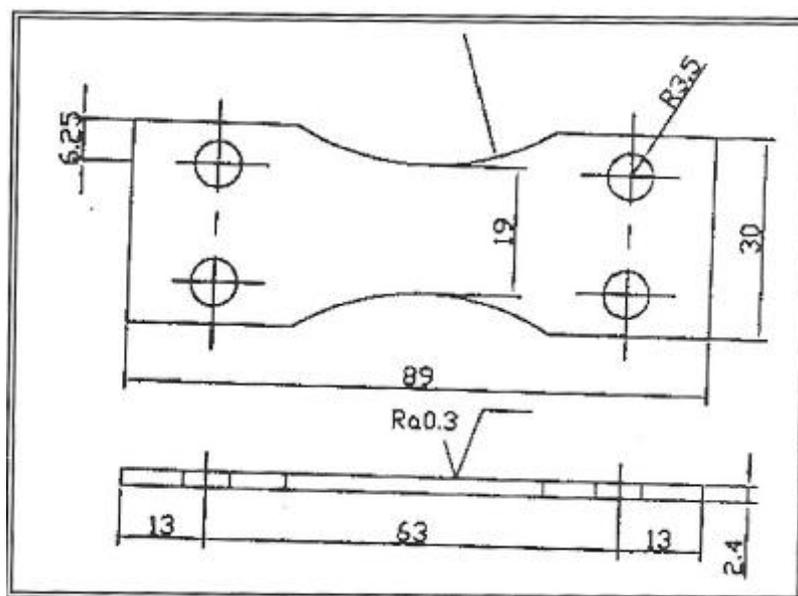
الاجهادات الشدية المتبقية (Mpa)	الاجهاد المكافيء بعد التعرض للضرب بالليزر (Mpa)		الاجهاد المكافيء قبل التعرض للضرب بالليزر (Mpa)	
	واطيء الى عالي (Mpa)	رقم العينة	واطيء الى عالي (Mpa)	رقم العينة
٠,٩٠٢	٣٤,٩٥٥	١٦	٣٤,٠٥٣	١١
٠,٩٤٥	٣٤,٣٣٥	١٧	٣٣,٣٩٠	١٢
٠,٣٠٩	٣٤,٢٠٩	١٨	٣٣,٩٠٠	١٣
٠,٣٧٧	٣٤,٥٧٧	١٩	٣٤,٢٠٠	١٤
٠,٨٧٢	٣٥,٢٦٠	٢٠	٣٤,٣٨٨	١٥

الجدول (٩) النتلج العملية للاجهادات الضغطية بأستخدام عملية القذف بالكريات المعدنية لمدة (٦) دقائق [٨]

الاجهادات الضغطية المتبقية (Mpa)	بعد التصليد	قبل التصليد	عدد دورات الفشل (N <sub>f</sub> )	بعد التصليد	رقم العينة	عدد دورات الفشل (N <sub>f</sub> )	قبل التصليد	رقم العينة
	الاجهاد المكافيء (Mpa)	الاجهاد المكافيء (Mpa)		الاجهاد (Mpa)			الاجهاد (Mpa)	
-٥٥,٦	١٤٥,١	٢٠٠,٧	٩٨٤٤٠٠	١٠٠-٢٦٠	٣	٣٠٢٠٠	١٠٠-٢٦٠	١
-١٢,٨	١٥٣,٢	١٦٦	٥٥٣١٠٠	٢٦٠-١٠٠	٤	٢٣٣٥٠٠	٢٦٠-١٠٠	٢

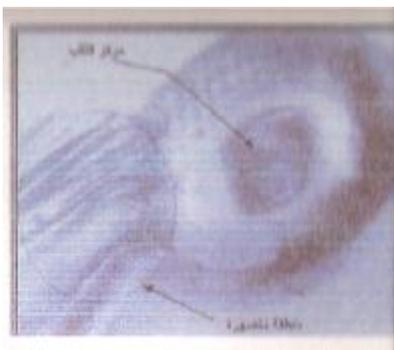


الشكل (١) مخطط توضيحي لمنظومة الليزر التي استخدمت في البحث الحالي [٤]



الشكل (٢) شكل وأبعاد عينات سبيكة الألمنيوم ١٠٦٠ التي استخدمت في البحث الحالي . وأن جميع الأبعاد بالمليمتر (mm) .

مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد ٢٥، العدد ٩، ٢٠٠٧  
أستخدام فحوصات الكلال لتقييم الاجهادات المتبقية  
الناتجة من المعاملة الليزرية لسبيكة الألمنيوم ١٠٦٠



(٢) السطح بعد ضربة ( نبضة ) واحدة بالليزر

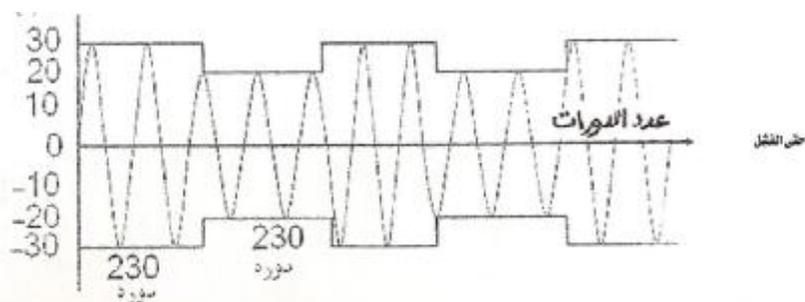


(١) السطح قبل عملية الثقب بالليزر



(٣) السطح بعد ضربتين (نبضتين) بالليزر

الشكل (٣) نتائج طوبوغرافية السطح لعينات  
من سبيكة الألمنيوم ١٠٦٠ قبل وبعد  
تعرضها للضرب بالليزر بطاقة (J, ٢٥) (١)



الشكل (4) تسليط اجهادات كلل الضرر المتراكم على عينات البحث الحالي