دراسة تأثير المعاملات الحرارية السطحية بالليزر على سبيكة المنيوم- سليكون (390)

علي حسين عتيوي* محمد صالح أحمد **

تاريخ التسلم: 2004/10/21
تاريخ القبول:2005/6/28

الخلاصة

يهدف البحث إلى دراسة تأثير المعاملة الحرارية بالليزر على سبيكة المنيوم- سليكون نوع (390) باستعمال ليزر نديميوم- زجاج (Nd- Glass) النبضي وبامد نبضة (300μs). استعملت طاقات ليزرية مختلفة في المعاملة هي 1J، 1.2J، 1.5J وذلك باستعمال طريقة التصليد بالصهر السطحي.

تمت دراسة خشونة السطح المعامل بالليزر ولوحظ ازدياد معدل الخشونة للعينات بعد المعاملة بالليزر. ومن خلال إجراء قياسات الصلادة الدقيقة (المجهرية) للمنطقة المعاملة وُجد زيادة واضحة في قيمة الصلادة لسبيكة المنيوم- سليكون (390) بالمقارنة مع المعاملة التقليدية والمعدن غير المعامل. وكانت أعلى قيمة صلادة تم الحصول عليها لهذه السبيكة بمقدار (285HV). تم تحديد الاطوار المتكونة في السبيكة عند معاملتها بأشعة الليزر وذلك من خلال تحليل حيود الأشعة السينية، ودراسة التركيب المجهري، إذ تبين ان الاطوار بعد المعاملة بالليزر تكون اكثر شدة منها قبل المعاملة.

أجريت فحوصات البلى للعينات المستعملة لهذه السبيكة وأظهرت النتائج تحسناً في معدل البلى بعد المعاملة بالليزر بالمقارنة مع الفحص بعد المعاملة التقليدية والمعدن غير المعامل.

الكلمات المرشدة: سبيكة المنيوم- سليكون(390)معاملة حرارية سطحية ، ليزر نديميوم_زجاج،خشونة سطحية- صلادة مايكروية

Study the effect of LASER surface treatment on Al-Si alloy type (390)

Abstract

The aim of research is to study the effect of heat treatment by using pulse Nd-glass laser with pulse duration 300μs, on surface properties of aluminum – silicon casting type (390). Three laser energies were used to melt and then harden surfaces. These energies were 1J, 1.2J, and 1.5J.

The study into roughness of laser treated surface shows that the roughness is increased after the treatment.

The micro hardness measurement of laser surfaces shows an increase in this property compared with surfaces treated with conventional treatment or the untreated surfaces. The maximum micro hardness measured after laser treatment was 285 HV.

X-ray diffraction was used to identify phases appeared after laser treatment. This technique, together with optical examination, indicates that the phases present are more intense after laser treatment than before.

Finally, wear rate tests were made on laser treated samples. The result shows an improvement in wear resistance as compared with non-treated or conventionally heat-treated specimens

* قسم هندسة المواد/ الجامعة التكنولوجية
** وزارة العلوم والتكنولوجيا

https://doi.org/10.30684/etj.24.7A.15
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

المقدمة

تعتبر سبائك الالمنيوم من السبائك المهمة جداً لما لها من استعمالات واسعة في العديد من حقول التكنولوجيا كالصناعات الفضائية وصناعة السيارات وذلك لامتلاكها العديد من المميزات التي تؤهلها لهذه الاستعمالات ككثافتها الواطئة ومقاومتها الجيدة للتآكل وتوصيليتها الحرارية العالية[1].

يعتبر الليزر من أهم الطرق اللاتقليدية وأوسعها استعمالاً للمعاملة السطحية للمواد السبائكية. لقد استعملت المعاملة باشعة الليزر خلال الستينات، واتسع استعمالها في عمليات التصليد السطحي لمعاملة الأجزاء المعقدة والتي يصعب تصليدها بالطرق التقليدية، وذلك لما تمتاز به حزمة الليزر من فوائد عديدة، منها تميزها بعدم وجود تماس بين الأداة والمادة المشغلة علاوة على تميزها بميزة التصليد الموقعي للعديد من الاجزاء المعقدة.

يعد الانصهار السطحي بالليزر من المعاملات المهمة ذات الاستعمال الواسع في العديد من التطبيقات الصناعية المختلفة للمواد التي لا تتصلد بالتحول المارتنسايتي، مثل حديد الزهر وبعض الفولاذ المقاوم للصدأ والتيتانيوم وفولاذ العدد وسبائك الالمنيوم[2].

في عام 1985 قام (G. Coquerelle, وجماعته) [3] بدراسة الاحتكاك والبلى لسبائك الالمنيوم- سليكون المعاملة بالليزر، وذلك باستعمال ليزر CO_2 المستمر ذي قدرة 5kw بعملية صهر سطحي لهذه السبائك المصبوبة (AS17U4G, AS12UN, AS5U3) وأظهرت الدراسة تحسناً في الصلادة ومقاومة البلى وكذلك أظهرت ان محتوى السليكون هو العامل المسيطر في مقاومة البلى.

ودرس Antoni وآخرون [4]عام 1988 تأثير الانصهار والتسبيك السطحي بالليزر في سلوك البلى لسبائك المنيوم- سليكون باستخدام ليزر CO_2 ذي قدرة 1.5kw وسبائك المنيوم- سليكون ذات محتوى سليكون 7%Si وكانت قيمة الصلادة 110HV لعمق (100μm).

كذلك قام Hossor & Hegge [5] عام 1989 بدراسة التركيب البلوري للالمنيوم النقي المعامل بالليزر بشدة وسبيكتين من سبائك الالمنيوم- سليكون (Al- 0.75 Si, Al- 0.4 Si). وقد استنتج ان كثافة الانخلاعات في سبائك الالمنيوم- سليكون تزداد مع زيادة سرعة المسح المتسببة بقصر المسافات بين جدران الخلايا المشبعة.

كما ان Leinenbach, Christian [6] عام 1999 قام بدراسة تحسين الخواص السطحية لسبيكة (Al 10% Si) المصبوبة باستعمال ليزر (Nd-YAG) عالي القدرة. اذ قام بدراسة احتمالات تحسين مقاومة البلى للسبيكة وذلك باستعمال الصهر السطحي بالليزر، والتسبيك السطحي بالليزر، فضلاً عن التخصيب (Impregnation) بالليزر. إذ استعمل مسحوق النيكل النقي وخليط من مسحوق (نيكل/ كروم) بنسبة (20/80) في التسبيك بالليزر، كذلك استعمل كاربيد التيتانيوم الصلد في عملية التخصيب بالليزر، وقد أظهرت النتائج ان الصهر بالليزر أعطى سطوحاً ناعمة مع صلادة مقدارها 100HV(0.1) بالمقارنة مع 55-60HV(0.1) مع المادة قبل المعاملة. كما ان مقاومة البلى ازدادت بمقدار (2) في حالة التسبيك وبمقدار (3) في حالة التسبيك والتخصيب بالمقارنة مع المادة الاساس غير المعاملة.

كذلك قام Zeyad A.T. [2] عام 2003 بدراسة تأثير الليزر على سبائك الالمنيوم- سليكون لسبيكة (AlSi25) باستخدام الصهر بليزر Nd-Glass النبضي وحصل على تحسين واضح في الصلادة لهذه السبيكة وقد كانت قيمة الصلادة 242HV.

إن هذا البحث يهدف إلى دراسة تأثير المعاملة السطحية بالليزر على سبيكة المنيوم- سليكون (390) باستعمال ليزر Nd-Glass النبضي وباستعمال طريقة الصهر السطحي ولطاقات ليزرية مختلفة.

الجزء العملي:

استعمل في هذا البحث ليزر نديميوم- زجاج النبضي (Pulsed Nd-Glass Laser) والذي يعد احد ليزرات الحالة الصلبة الأكثر استعمالاً بسبب الانبعاث المحفز لايونات النديميوم ثلاثي التكافؤ Nd^{+3} التي يكون الزجاج عادة المادة المضيفة لها[7]. ومن الخصائص المميزة لهذا النوع من الليزرات انه موحد الخواص في جميع الاتجاهات [8] فضلاً عن الكلفة الواطئة بالمقارنة مع ليزر Nd-YAG.

استعملت في هذا البحث سبيكة المنيوم- سليكون (390) وهي من سلسلة (300) وهي من السبائك المصبوبة. والجدول (1) يبين التركيب الكيمياوي للسبيكة المستعملة بالمقارنة مع التركيب الكيمياوي القياسي. وذلك بحسب مواصفة (ASM)[9].

استعملت عملية الصهر السطحي بالليزر للعينات المحضرة من هذه السبيكة وذلك باستعمال ضربات منفردة (Single Pulses) واخرى متداخلة (Over lapped-pulses) وبطاقات تتراوح بين 1J إلى 1.5J. علما انه تم الحصول على كثافة القدرة مقاسا (بالواط) وفق العلاقة

$$I = \frac{P}{A} \quad \ldots\ldots \qquad (1)$$

وفي الليزرات النبضية فان لأمد النبضة تأثيراً كبيراً في تحديد قيمة قدرة الليزر أي ان

$$P = \frac{E}{t_p} \quad \ldots\ldots \qquad (2)$$

إذ تمثل (E) طاقة نبضة الليزر مقاسا (بالجول) و (t_p) أمد النبضة مقاسا (Sec).

وعلى هذا الأساس تم احتساب كثافة القدرة في منطقة بؤرة العدسة وفق المعادلةالآتية:

$$I = \frac{E}{At_p} \quad \ldots\ldots \qquad (3)$$

إذ تمثل (A) مساحة البقعة عند البؤرة (cm^2) فقد تم استخدام عدسة بعدها البؤري 4cm.

فضلاً عن اجراء المعاملة التقليدية والتي تمت بالتسخين إلى درجة حرارة 495C° للحصول على المحلول المنتظم المتجانس، إذ ثبتت العينات في هذه الدرجة الحرارية مدة 30 دقيقة وبردت بعدها بالماء ثم اعيد وضعها في الفرن مدة 8 ساعات بدرجة حرارة 175 C° وذلك للحصول على التعتيق الاصطناعي T_6 [9].

تم تحضير العينات بعد ان تم تقطيعها إلى قطع ذات ابعاد مختلفة (على شكل قرص ϕ10mm وسمك 5mm) بوجود سائل تبريد لتجنب الارتفاع في درجات الحرارة في اثناء عملية القطع. ثم تنظيف العينات بالكحول لإزالة الدهون والاوساخ الاخرى. اجريت بعد ذلك عمليات التنعيم بأوراق من كاربيد السليكون وتيار مائي هادئ على عدة مراحل كالآتي (80, 120, 400, 600, 800, 1000, 1200) ثم صقلت العينات بقماش الصقل ومعجون الالومينا.

ان المرحلة الأخيرة تمثلت في استعمال محلول الاظهار (Etching solution) لأظهار التركيب المجهري والمكون من (0.5) حامض الهايدروفلوريك (Hf) مع 99.5% ماء. حيث غمرت العينات فيه مدة 30 ثانية.

تم استعمال المجهر الضوئي من نوع (Reichert) المجهز بكاميرا رقمية منصبة ببرنامج خاص على جهاز حاسوب امكن من خلالها التقاط صور للبنية المجهرية بقوة تكبير (250X) بعد مشاهدتها على شاشة العرض الخاصة بالحاسبة.

كذلك فقد تم استعمال جهاز نوع (Letz Wetzlar Germeny 8397) لقياس الصلادة الدقيقة بطريقة (Vickers) ذو اداة تغلغل ماسية مربعة القاعدة هرمية الشكل ذات زاوية رأسية مقدارها (136°) واستعمل حمل مقداره (300 غم) مدة (30) ثانية وان العلاقة المستعملة في حساب الصلادة المجهرية لهذه الطريقة هي:

$$\left[HV = \frac{1.854F}{d^2} \cdot Kgf/mm^2\right] \ldots\ldots(4)$$

وتم استعمال جهاز فحص الخشونة نوع (Taylor- Hobson Talysurf 4) لحساب خشونة السطح علما ان قياس الخشونة كان بطريقة (Center line average C.L.I.).

اجري اختبار البلى للعينات قبل المعاملة وبعدها باشعة الليزر كذلك قبل المعاملة التقليدية وبعدها باستعمال الطريقة الوزنية واستعمال جهاز فحص البلى المتكون من قرص فولاذي صلادته 60HRC الذي يدور بسرعة(420 rev/min) بفعل محرك كهربائي. وضعت العينة بتماس مباشر مع القرص في اثناء الدوران مدة (5) دقائق تحت تأثير حمل مسلط مقداره (2Kg)، توزن العينة بميزان حساس وذلك لحساب مقدار الفقدان في الوزن خلال كل (5) دقائق وتعاد العملية (5) مرات.

وتم تطبيق المعادلة:

$$\text{Wear rate} = \frac{M_1 - M_2}{\pi s_1 v_1 t_1} \ldots\ldots(5)$$

إذ ان:

M_1: كتلة العينة قبل التشغيل (gm)

M_2: كتلة العينة بعد التشغيل (gm)

s_1: قطر مسار العينة هو (10 cm)

v_1: السرعة الدورانية للقرص (rev/min)

t_1: زمن الفحص (min)

ولمعرفة التراكيب البلورية للأطوار المتكونة استعمل جهاز حيود الاشعة السينية نوع (Pw- 1840- Philips). إن جميع فحوصات حيود الاشعة السينية تمت عند درجة حرارة الغرفة وبمدى زوايا 2θ بمقدار (60 -20)، وقد تم اتباع قانون براك لحساب المسافة (d) بين المستويات الذرية.

$$2\,d\,\sin\theta = n\lambda \ldots\ldots (6)$$

إذ إن:

θ: زاوية الحيود

n: مرتبة الحيود = 1

d: المسافة بين المستويات

λ: الطول الموجي للأشعة السينية.

النتائج والمناقشة:

1- تأثير كثافة القدرة:

تعد كثافة القدرة من المعاملات الرئيسة في المعاملات السطحية بالليزر والتي يجب السيطرة عليها بدقة للحصول على أفضل انصهار للمنطقة المعاملة والذي يحقق بالنتيجة افضل الخواص المطلوبة. ان كثافة القدرة تعتمد بالدرجة الأساس على طاقة الليزر التي لها تأثير كبير على عمليات التصليد السطحي موضوع بحثنا. إذ ان زيادة الطاقة كما اشرنا تؤدي إلى زيادة كمية الحرارة التي يمتصها المعدن ومن ثم ارتفاع درجة حرارته بزمن قصير جداً اعتماداً على زمن النبضة وعند انقطاع نبضة الليزر سيكون هناك تبريد مفاجئ بانحدار حراري عالي جداً بازمان قصيرة مؤدياً لتكون اجهادات متبقية تغير من خصائص المعدن الميكانيكية وخاصة الصلادة.

الأشكال (1)، (2)، (3) تمثل العلاقة بين الصلادة المايكروية وكثافة القدرة للسبيكة المستعملة في البحث ولطاقات ليزرية مختلفة(1J, 1.2J, 1.5J).

يتبين من الأشكال اعلاه انه مع زيادة كثافة القدرة فأن قيمة الصلادة لسبيكة (المنيوم- سليكون 390) تزداد.

ان السبب في زيادة قيمة الصلادة مع زيادة كثافة القدرة لسبيكة المنيوم- سليكون (390) من الممكن ان يعزى إلى الانصهار الحاصل في الطبقة السطحية للسبيكة الذي يسبب نقصاناً في الحجم الحبيبي بسبب معدل التبريد العالي مما يعطي قوة اكثر تؤدي إلى زيادة قيمة الصلادة في السبيكة.

2- العلاقة بين الصلادة والمسافة عن مركز الضربة بالليزر:

تم قياس الصلادة الدقيقة لسبيكة الالمنيوم المستخدمة في البحث كما مبين في الأشكال(4، 5، 6) التي تبين تغير قيم الصلادة الدقيقة مع المسافة عن مركز الضربة لقيم مختلفة من الطاقات لأشعة

الليزر. عند ملاحظة الأشكال أعلاه يتبين ان قيمة الصلادة تقل كلما ابتعدنا عسن مركسز الضربة وان قيمة الصلادة تكون عالية فسي مركز الضربة (النقطسة A)، ويعسود ذلسك للتوزيع الكبير في درجات الحرارة في تلسك المنطقة عند حسصول عمليسة الانسصهار والاخماد الذاتي السريع كما في الأشكال (4، 5، 6)، وهذا يعني أكثر مقاومة للغرز (أقسل عمقا). ويعود ذلك إلى ان المنطقة المعاملسة تكون فيها أعلى قيمسة لسدرجات الحسرارة وبالتالي أعلى قيمة للتدرج الحراري. وكلما ابتعدنا عن المنطقة المعاملة يكون التوزيسع الحراري أقل وهذا يعني ان قيمة السصلادة تكون اقل ومن ثم يزداد عمق الغرز (نقصان المقاومة) حتى يكاد يصل إلى قيمة قريبة من قيمة الصلادة للسبيكة قبل المعاملة في ابعسد منطقة على المنطقة المعاملة كما موضع في النقطة (B) من الأشكال أعلاه.

3- نتائج فحص البلى:

لدراسة تأثير المعاملة بسالليزر فسي مقاومة البلى تمت معاملة عينات من سسبائك الالمنيوم المستعملة فسي البحسث. واجسري فحص البلى لعينات أجريت عليها معساملات تقليدية ومعاملات بالليزر علاوة على السبيكة غيسر المعاملسة. بينست النتسائج المتمثلسة بالشكل(7) العلاقة بين مقدار الفقسدان فسي الوزن وزمن الفحص للعينات المستخدمة في البحث إذ نلاحظ اختلافا واضحا في مقسدار الفقدان بالوزن في الحالات الثلاث:

أظهرت النتائج ان مقدار الفقدان في الوزن للعينات المعاملة بالليزر اقل من مقدار الفقدان في الوزن للعينات المعاملة حراريسا بصورة تقليدية وهذه ابدت فقدان في السوزن أقل مقارنة بالسبيكة قبل المعاملسة ذلسك ان العينات المعاملة بسالليزر اظهسرت تحسسنا واضحا في قيمة الصلادة اكثسر مسن تلسك المعاملة تقليديا وعينات المعدن قبل المعاملة اما الشكل (8)فيمثل العلاقة بين معدل البلى وزمن الفحص للسبيكة المستعملة في البحث.

ان المعاملة بالليزر حسنت الخواص الميكانيكية ولوحظ زيادة واضحة في قيمسة الصلادة لذا فأن معدل البلى للسسبيكة بعسد المعاملة بالليزر يكون أقل ما يمكن ويميسل إلى الانتظام مع ملاحظة ان معدل البلى بعد المعاملة التقليدية يكون قليلاً أيضا لكنه أكبر من معدل البلى بعد المعاملة بالليزر كل ذلك مقارنة مع السبيكة قبل المعاملة والتي سجلت أعلى معدل البلى.

تتفق النتائج التي تم الحصول عليهسا بخصوص زيادة مقاومة البلسى مسع نتسائج بحوث اخرى[2,3] مع الاختلاف في معدلات البلى الناتجة.

4- البنية المجهرية وعلاقتها بتحليل حيود الأشعة السينية:

يعد فحص البنيسة المجهريسة مسن الفحوصات المهمة جدا وذلك لتوضيح التغير في التركيب والبنيسة المجهريسة للسسبيكة المستعملة في البحث والسشكل (9) يوضسح التركيب المجهري للعينات قبسل المعاملسة باشعة الليزر وبعدها، وفسي هسذه السسبيكة المستعملة في البحسث الموضسح تركيبهسا المجهري في السشكل (9A) فسأن بلسورات السليكون الأكثر تركيزاً في السسبيكة تبسدو واضحة في العينة المجهريسة علسى شسكل بلورات ابرية خشنة[10] هذا السشكل يكسون بفعل نهاياته الحادة مركزاً لتركيز الاجهادات وبالتالي اضسعاف الخسواص الميكانيكيسة للسبيكة. عند المعاملة التقليدية لهذه السسبيكة ترتفع درجة الحرارة جراء المعاملسة ممسا يؤدي إلى نقصان الحجم الحبيبي لبلسورات السليكون وتفاعلها لتكوين اطوار تقوية تظهر من خلال تحليل حيود الاشعة السينية المبين في الجدول (2–A,B) مما يؤدي إلى زيسادة قيمة الصلادة في السبيكة وتحسين مقاومسة البلى.

بعد المعاملة بالليزر تتعرض بلورات السليكون إلى نقصان واضسح فسي الحجسم الحبيبي بسبب الارتفاع الكبير في درجسات الحرارة والذي يؤدي إلى ان يكون تركيسب السبيكة انعم واصلد.

يعزى التنعيم الحاصل في بلسورات السليكون إلى الانصهار الذي حسصل فسي السطح نتيجة للامتصاصية الحاصلة لحزمة

الليزر وان هذا الامتصاص يتركز في بلورات السليكون اكثر منه في الالمنيوم (الانعكاسية للسليكون 0.4 والانعكاسية للالمنيوم 0.98) لذلك فأن التركيز الحراري سيكون في بلورات السليكون جاعلة هذه البلورات تتفتت وتكون انعم مما يسهل تفاعل السليكون مع العناصر الأخرى مثل Cu– Mg لتكوين مركبات وسطية تم الكشف عنها من خلال حيود الأشعة السينية المبين في الجدول (2–A, B) هذه المركبات هي ($Mg_6Si_7Cu_6$, Al_5Fe_2) تمثل اطوار تقوية في السبيكة تؤدي إلى زيادة قيمة الصلادة في السبيكة مقارنة مع السبيكة قبل المعاملة.

5- نتائج فحص الخشونة:

يمثل الشكل (10) العلاقة بين كثافة القدرة وخشونة السطح للسبيكة المستعملة في البحث ويظهر من هذا الشكل انه عند طاقة ليزر معينة تزداد خشونة السطح مع كثافة القدرة. ان لطاقة شعاع الليزر تأثير كبير في عمليات التصليد السطحي لان الزيادة في الطاقة أو كثافة القدرة تؤدي إلى زيادة في كمية الحرارة الممتصة من قبل المعدن مما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة وتؤدي بالنتيجة إلى توليد شد سطحي مرتبط بانصهار قليل يعطي طبقة سطحية غير منتظمة. ان استخدام كثافة قدرة عالية مع زمن قصير يؤدي إلى حصول تموجات في المنطقة المعاملة التي تؤدي بالنتيجة إلى جعل السطح خشنا.

الاستنتاجات:

1- أدت زيادة طاقة أشعة الليزر الى زيادة واضحة في قيمة صلادة سبيكة ألمنيوم- سليكون (390) المستعملة في البحث.

2- ان زيادة قيمة الصلادة في سبيكة ألمنيوم- سليكون (390) يعود إلى التنعيم الحاصل في الحجم الحبيبي لبلورات السليكون ذات التركيز الأعلى في السبيكة.

3- أدت زيادة طاقة أشعة الليزر الى ارتفاع واضح في خشونة السطح.

4- أظهرت المعاملة بليزر Nd-Glass تحسنا واضحا في مقاومة البلى لسبيكة المنيوم- سليكون (390) بالمقارنة مع المعاملة التقليدية وبالمقارنة مع السبيكة قبل المعاملة.

المصادر

1. P. Vanhile , S. Tosto., Surface and Coatings technology 80, 295- 303, 1992.
2. Zayed A. T. ,Laser Surface Treatments of Steel and Aluminum Alloys, M. Sc. Thesis, Baghdad University, 2003.
3. Coquerelle G., Bosch J. P., Farges G., Tribology- Surface Treatment Laboratory, Acta, Metal. pp. 409-423, 1985.
4. Antoni M.P., Blank E. Effect of Laser Surface Remelting and Alloying on The Wear Behavior of Al- Si Alloy. Ecole Polytechnique, Switzerland, 1988.
5. Hegge H.J. , De Hossor J.T., Microstructure of Laser Treated Al-Alloys. Metal Matter. 38 (12): 2471-2477, 1989.
6. Leinenabach,Christaing., Improved Surface Properties of Cast (AlSi10) by Nd-YAG Laser Surface Treatment. 1998, http://epubl.Luth.Se/1402-1617/150..
7. Al- Janabi A. Hadi, S. Y. Jasim, F. Tariq, Design and Construction Of High Energy Nd- Glass Laser System. Laser and Plasma Institute. Baghdad University, 1999.
8. Arecchi F.T., E.O. Schulz. Dubious. Laser Handbook Vol. 1, New York, EDWARD PUBLISHER,1972.
9. Boyer E.H., Gall Timothy L., Metal Handbook Desk edition. ASM. 1985.
10. Yu.M. Lakhtin, Engineering Physical Metallurgy and Heat Treatment Moscow,MIR PUBLISHER, 1979.

جدول رقم (1) نتائج التحليل الكيمياوي لسبيكة المنيوم- سليكون (390) الذي اجري للسبيكة بعد الصب مقارنة بالتركيب الكيمياوي حسب المواصفة القياسية

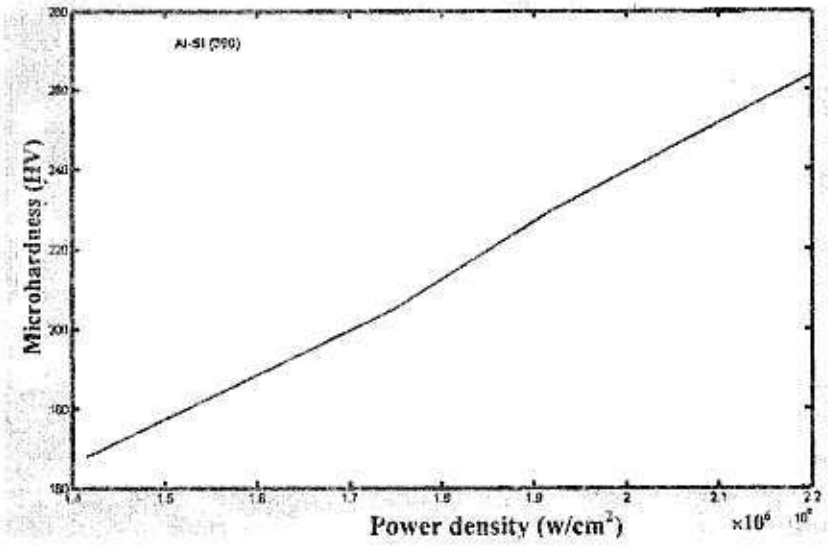
العنصر	التركيب الكيمياوي حسب المواصفة القياسية		التركيب الكيمياوي وفق التحليل
Element	Minimum%	Maximum%	Real analysis
Si wt %	16	16	16.76
Fe wt %	0.00	1.3	2.44
Cu wt %	4	5	3.43
Mn wt %	0.00	0.1	0.24
Mg wt %	0.45	0.65	0.39
Ni wt %	0.00	0.00	0.14
Ti wt %	0.00	0.2	0.05
Cr wt %	0.00	0.00	0.84
Sn wt %	0.00	0.00	0.02
Zn wt %		0.1	0.86

جدول رقم (2) نتائج ومخططات حيود الأشعة السينية لسبيكة المنيوم- سليكون (390) قبل المعاملة

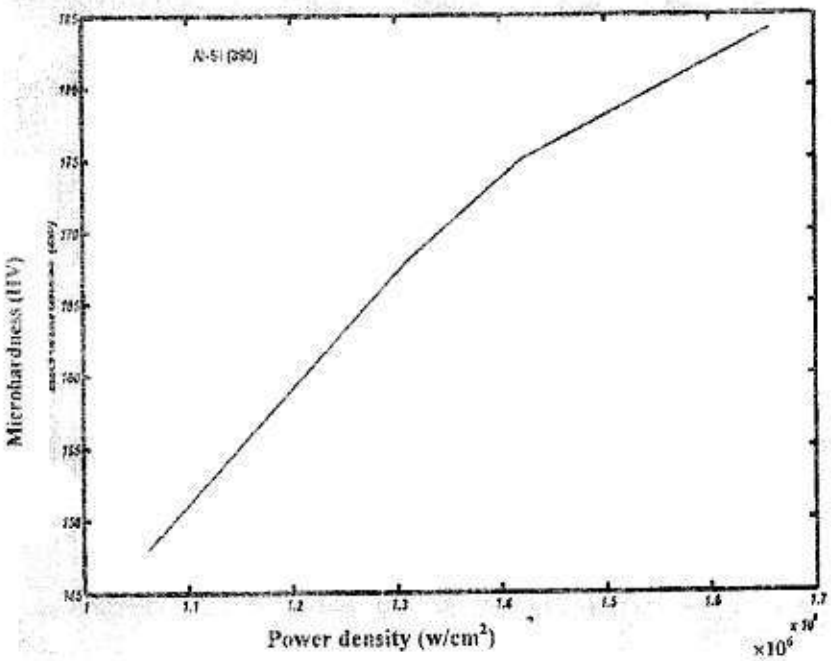
2θ	$d_{Obs.}$ A°	$d_{standard}$ A°	Phase	Intensity
29	3.082	3.138	Si	100
31.2	2.87	2.89	$Mg_6 Si_7 Cu_{16}$	50
38.6	2.335	2.338	Al	100
39.25	2.298	2.23	$Mg_6 Si_7 Cu_{16}$	90
43.3	2.1	2.11	$Al_5 Fe_2$	100
44.8	2.025	2.024	Al	47
46.28	1.96	1.963	$Mg_6 Si_7 Cu_{16}$	80
47.3	1.924	1.920	Si	60
48.1	1.894	1.90	$Al_5 Fe_2$	8
53	1.73	1.757	$Mg_6 Si_7 Cu_{16}$	30
55.8	1.65	1.638	Si	35
58.4	1.58	1.59	$Al_5 Fe_2$	4
60.7	1.527	1.519	$Mg_6 Si_7 Cu_{16}$	5
63.	1.477	1.48	$Al_5 Fe_2$	16
64.66	1.443	1.431	Al	22
69	1.363	1.357	Si	8
73.18	1.295	1.279	$Mg_6 Si_7 Cu_{16}$	60
76.28	1.25	1.246	Si	13
78	1.226	1.221	Al	24
80.7	1.192	1.194	$Mg_6 Si_7 Cu_{16}$	50
82	1.176	1.172	$Mg_6 Si_7 Cu_{16}$	60
83.6	1.158	1.158	$Al_5 Fe_2$	2
87.8	1.113	1.11	$Fe_3 Al$	20

جدول رقم (3) نتائج ومخططات حيود الأشعة السينية لسبيكة المنيوم- سليكون (390) بعد المعاملة بالليزر

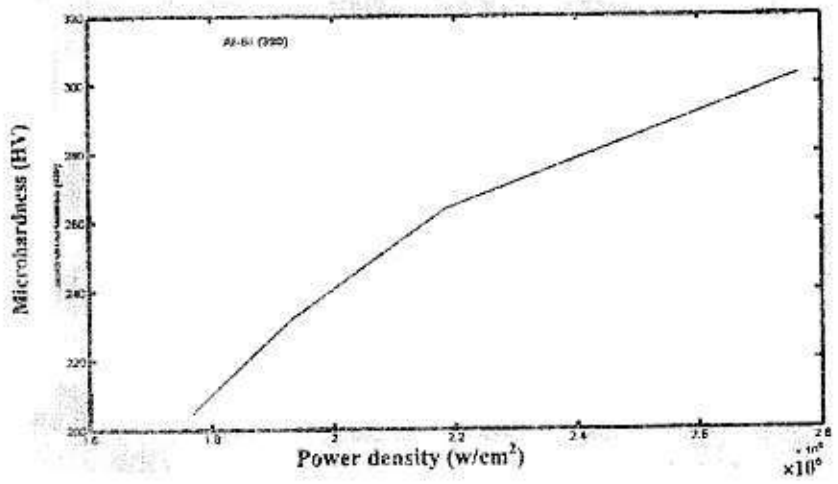
2θ (degree)	d' (A°)min.	d (A) standard	Phase	Relative intensity (I/I₀)
29	3.108	3.138	Si	100
34	2.64	2.61	$Mg_6Si_7Cu_{16}$	5
38	2.3709	2.37	$Mg_6Si_7Cu_{16}$	20
39	2.334	2.338	Al	100
40.31	2.24	2.23	$Mg_6Si_7Cu_{16}$	90
42.7	2.12	2.11	Al_5Fe_2	100
45	2.023	2.024	Al	47
47.2	1.917	1.92	Si	60
52.3	1.75	1.757	$Mg_6Si_7Cu_{16}$	30
56	1.641	1.638	Si	2
60.3	1.5368	1.55	Al_5Fe_2	2
65	1.431	1.431	Al	22
69	1.355	1.357	Si	8
73.6	1.2885	1.29	Fe_3Al	10
77	1.242	1.246	Si	13
78.7	1.218	1.221	Al	24
79.4	1.208	1.21	Al_5Fe_2	16
83	1.164	1.169	Al	7
85.7	1.135	1.127	$Mg_6Si_7Cu_{16}$	30
88.7	1.102	1.1083	Si	17



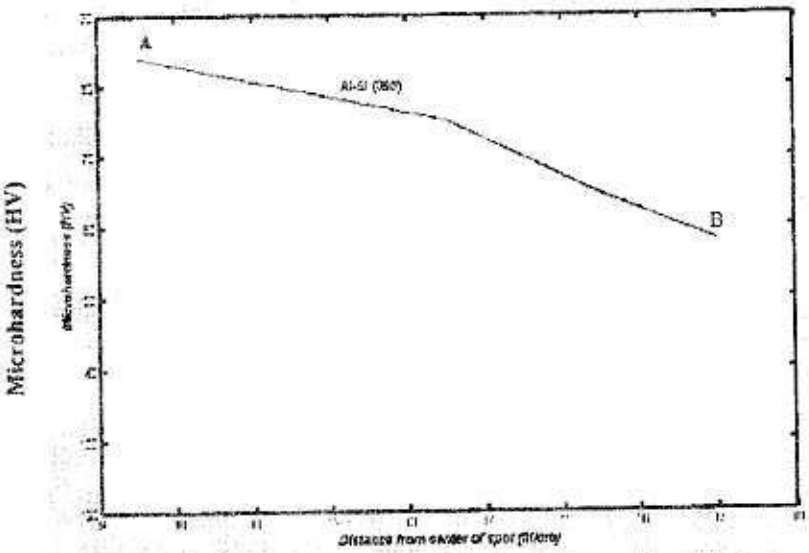
الشكل (1) العلاقة بين كثافة القدرة والصلادة الدقيقة عند طاقة ليزر (1J)



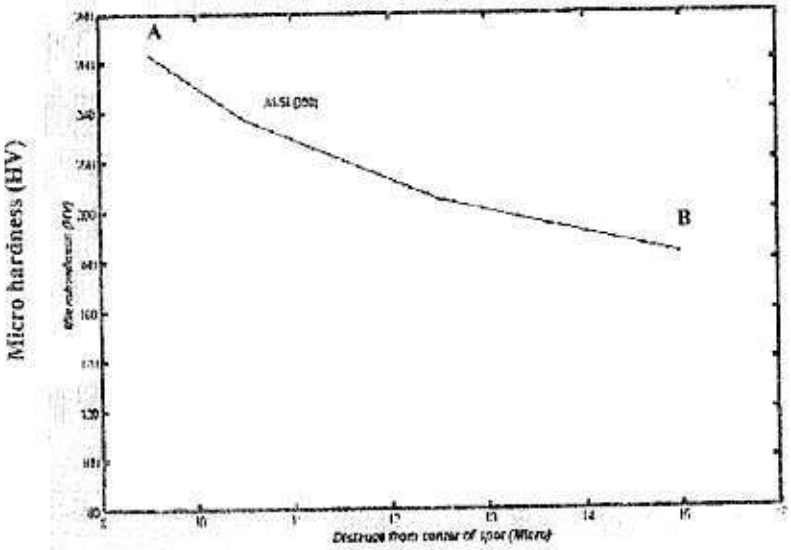
الشكل (2) العلاقة بين كثافة القدرة والصلادة الدقيقة عند طاقة ليزر (1.2J)



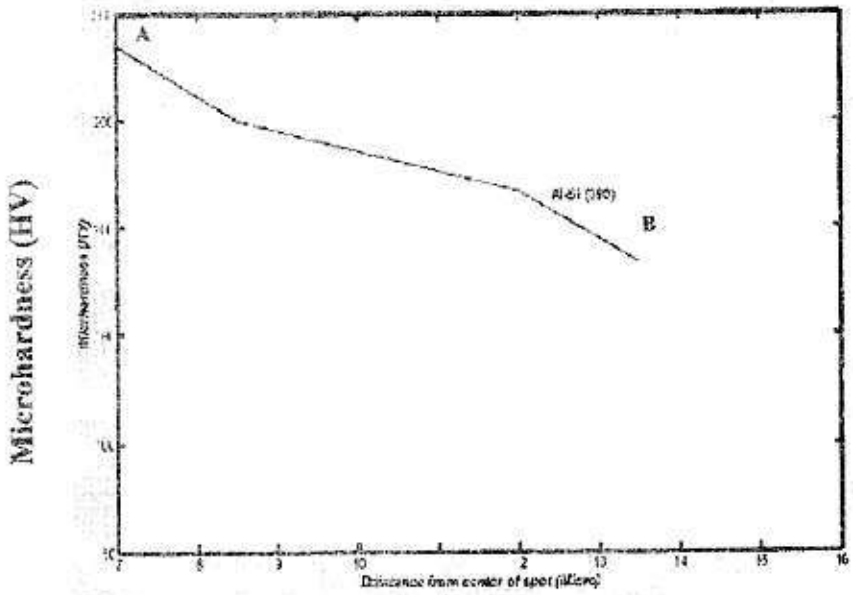
الشكل (3) العلاقة بين كثافة القدرة والصلادة الدقيقة عند طاقة ليزر (1.5J)



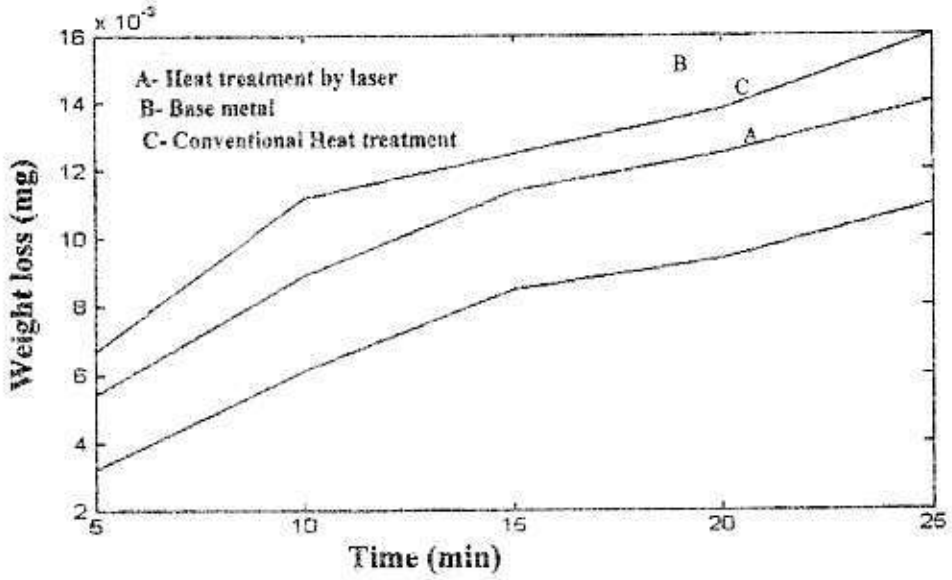
شكل (4) العلاقة بين الصلادة الدقيقة والمسافة عن مركز الضربة عند طاقة ليزر (1J) للسبيكة المستعملة في البحث



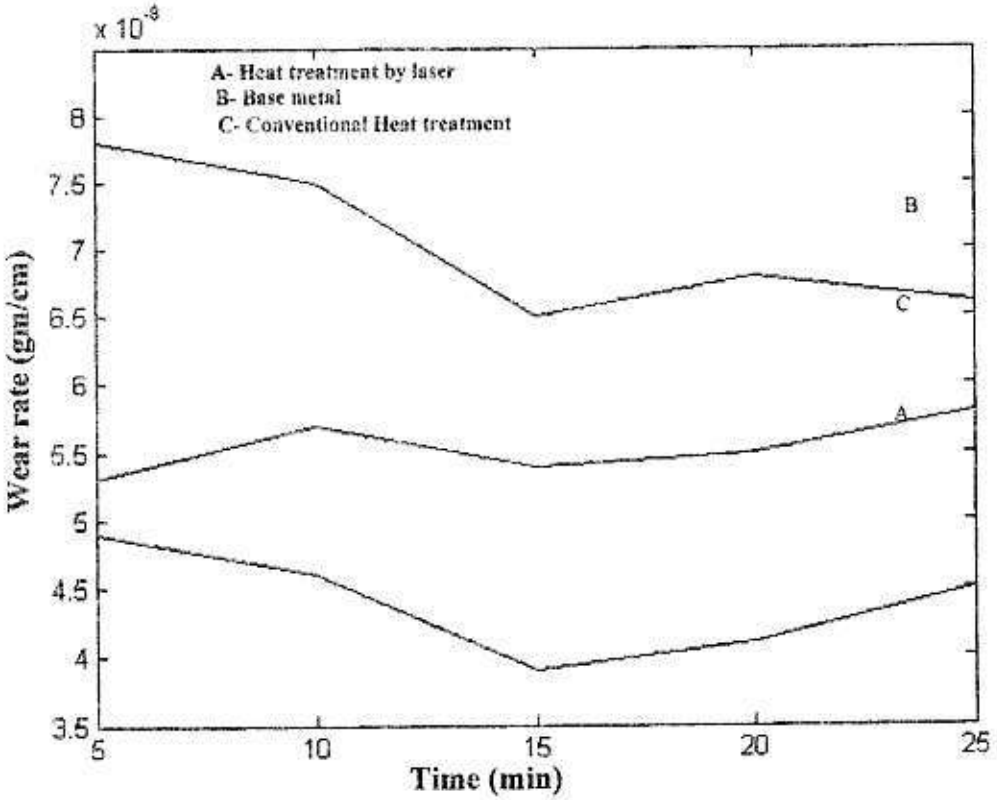
شكل (5) العلاقة بين الصلادة الدقيقة والمسافة عن مركز الضربة عند طاقة ليزر (1.2J) للسبيكة المستعملة في البحث



شكل (6) العلاقة بين الصلادة الدقيقة والمسافة عن مركز الضربة عند طاقة ليزر (1.5J) للسبيكة المستعملة في البحث

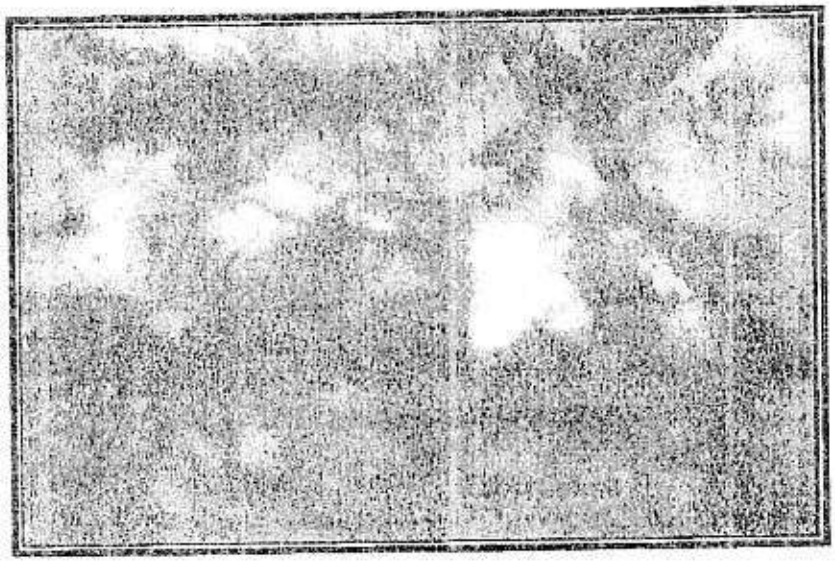


شكل (7) العلاقة بين الفقدان في الوزن وزمن فحص البلى

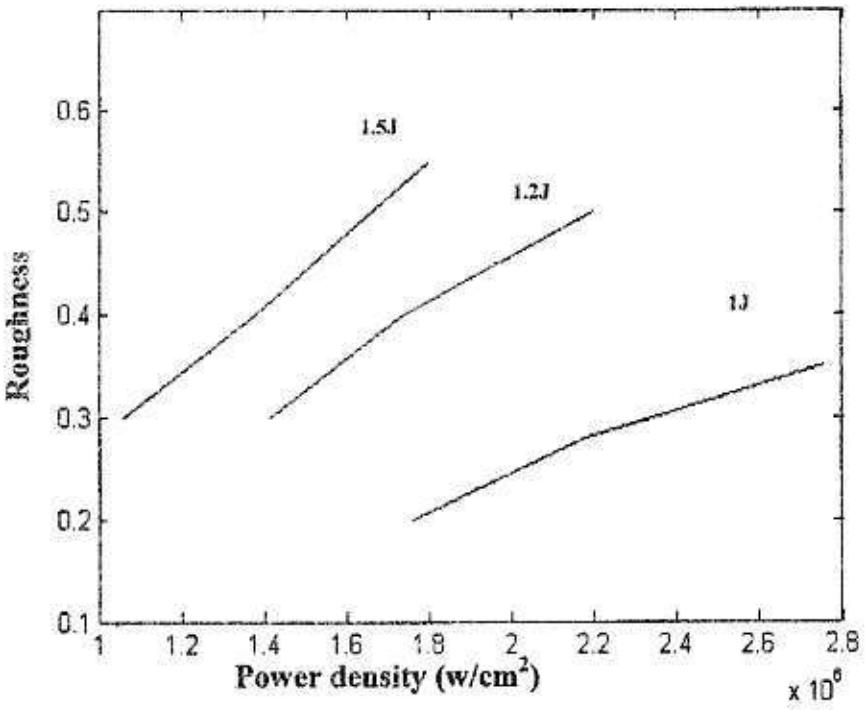


شكل (8) العلاقة بين معدل البلى وزمن فحص البلى

(A) قبل المعاملة



(B) بعد المعاملة بالليزر
شكل (9) التركيب المجهري قبل المعاملة بالليزر وبعدها



شكل (10) العلاقة بين كثافة القدرة والخشونة