تأثير اضافة بعض العناصر المعاملة السطحية بالليزر على معدل البلى لسبيكة المنيوم-16%سليكون

هويدة ابراهيم احمد*

تاريخ التسلم:2/12/2010
تاريخ القبول:3/3/2011

الخلاصة

في هذا البحث تم اجراء المعاملة السطحية بالليزر لتصليد سبيكة المنيوم-16%سليكون بعد اعادة صهرها واضافة ثلاث عناصر ذات نقاوة عالية اليها وهي النحاس,المغنيسيوم,النيكل بنقاوة عالية وبكميات مناسبة بأستعمال ليزر النيديميوم-زجاج(Nd-Glass) وبأمد نبضة (6Hz.)وبضربات متداخلة شملت كل سطح العينة ,وقد استعملت طريقة التصليد بالصهر السطحي للسبيكة موضوعة البحث ,تم دراسة مقاومة البلى لعينات من السبيكة قبل وبعد المعاملة بالليزر وبأحمال مختلفة وحساب قيمة الصلادة الفيكرية واظهرت النتائج ارتفاع كبير في قيمة الصلادة وتحسنا" في معدل البلى بعد المعاملة بالليزر بالمقارنة مع العينات غير المعاملة.

الكلمات الدالة:نقاوه عالية, ليزر النيديميوم_زجاج**,** التصليد بالصهر السطحي, البلى, الصلادة الفيكريه.

Effect of Addition Some Element Laser Surface Treatment on Wear Rate of Al-16%Si

Abstract

In this work laser surface treatment has used in hardening alloy which are (Al-16%Si) after melting it and addition element which are (Mg,Cu,Ni) with high purity with suitable quantities by using pulsed Nd-Glass laser with pulsed duration (6Hz.) with overlapped-pulses.laser surface melting method done for the alloy,and wearing test performed with different loads before and after laser treatment ,the results show that wear rete and hardness increases after laser treatment.

Keywords: high purity**,** Nd-Glass laser, laser surface melting, wear, hardness.

1- المقدمه

تعد سبائك الألمنيوم من السبائك المهمة جدا لما لها من استعمال واسع في العديد من حقول التكنولوجيا كالصناعات الفضائية وصناعة السيارات وذلك لامتلاكها العديد من المميزات التي تؤهلها لهذه الاستعمالات ككثافتها الواطئة ومقاومتها الجيدة للتأكل وتوصيليتها الحرارية العالية[1].

تقسم سبائك الالمنيوم من حيث استجابتها للمعاملة الحرارية الى سبائك غير القابلة للمعاملة الحرارية (Non heat treatable alloys) واخرى قابلة للمعاملة الحرارية (Heat treatable alloys) فالسبائك غير القابلة للمعاملة الحرارية يمكن زيادة مقاومتها عن طريق التشكيل على البارد وتكون الزيادة في مقاومتها ناتجة عن التشويه اللدن للمعدن[2]، ويمكن زيادة صلادة ومقاومة سبائك الالمنيوم-سليكون غير القابلة للتعامل الحراري عن طريق الاصلاد السطحي بالليزر.

ان اضافة العناصر السبائكية الى الالمنيوم يهدف الى انتاج سبائك المنيوم تشغل بواسطة الضغط او الكبس وغيرها، إذ تحسن تلك العناصر الخواص الميكانيكية لتلك السبائك. وعند اضافة كمية قليلة من

* قسم هندسة الانتاج والمعادن، الجامعة التكنولوجية/ بغداد

https://doi.org/10.30684/ etj.29.7.18
University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq/2412-0758
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

عناصر Si, Mg, Cu الى الالمنيوم نحصل على تشكيلة من سبائك الالمنيوم تعرف ب ديور الومن تستعمل في صناعة الطائرات والمركبات الفضائية، وعند تصليد هذا النوع من السبائك بالتعتيق نحصل على متانة تظاهي فولاذ الانشاءات الكربوني[3].

يضاف Si بنسب كبيرة الى الامنيوم لتحسين خواص الالمنيوم على حساب المطيلية إذ يحسن من قابلية الصب بتقليل الانكماش الحجمي للسبيكة عند تجمدها [4]. كما يخفض السليكون من معامل التمدد الحراري للألمنيوم ويحسن من قابلية التوصيل الكهربائي ,وله كثافة منخفضة تصل الى ($2.33gm/cm^3$) والذي يكون ميزة تخفض الوزن الأجمالي للمكونات بعد الصب ,للسليكون قابلية منخفضة جدا للذوبان في الألمنيوم في الحالة الصلبة ولهذا فأنه يترسب بشكل نقي تقريبا في السبيكة وهو عنصر صلد مما يرفع من مقاومة الكشط للألمنيوم والشكل (1) يمثل مخطط التوازن الحراري لنظام المنيوم-سليكون [5].

ان اضافة النحاس الى سبائك الألمنيوم سليكون يحسن الصلادة ويزيد من المقاومة خصوصا عند درجات الحرارة العالية ,كما أن مقاومة الزحف والبلى تزداد مع زيادة محتوى النحاس , وتتحسن قابلية التوصيل الكهربائي ولكنه يقلل من قابلية اللحام ومقاومة التآكل الأجهادي.عندما تحتوي سبائك الألمنيوم- سليكون على النحاس يتكون طور وسطي هو المركب Al_2Cu وغيرها من المركبات الوسطية , تتصلب أطوار النحاس بشكلين مختلفين هما المركب Al_2Cu و يوتكتك من $Al+Al_2Cu$ ويمكن زيادة الخواص الميكانيكة لهذه السبائك بأجراء معاملات حرارية مثل المعاملة المحلولية والتعتيق الأصطناعي حيث ان النحاس يحسن من قابلية الأصلاد بالترسيب لسبائك الألمنيوم سليكون ويخفض من درجة حرارة الأنصهار ودرجة حرارة اليوتكتك .المصدر[6-7-8]

يعد المغنيسيوم من العناصر التي تحسن من مقاومة الشد والخضوع لسبائك الألمنيوم-سليكون ويجعلها لينة علاوة على انه يحسن من قابلية التصليد بالتشغيل والمقاومة والصلادة للسبائك المعاملة حراريا" حيث انه يرتبط مع السليكون مكونا" المركب Mg_2Si. يضاف النيكل الى سبائك الألمنيوم-سليكون لتحسين مقاومة الخضوع للسبيكة والصلادة عند درجات الحرارة العالية لأنه يقلل من معامل التمدد الحراري للسبيكة [8-9-10]

يعتبر الليزر من أهم الطرق غير التقليدية المستعملة للمعاملة السطحية للمواد السبائكية وأوسعها. لقد استخدمت المعاملة بأشعة الليزر خلال الستينات واتسع استعمالها في عمليات التصليد السطحي لمعاملة الأجزاء المعقدة التي يصعب تصليدها بالطرق التقليدية وذلك لما تمتاز به حزمة الليزر من فوائد عديدة منها تميزها بعدم وجود تماس بين الأداة والمادة المشغلة فضلاً عن تميزه بميزة التصليد الموقعي للعديد من الأجزاء المعقدة.

يعد الانصهار السطحي بالليزر (Laser Surface Melting) 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 الألمنيوم وخاصة سبائك الألمنيوم-سليكون.

لقد أشار الباحث Hoaran Geng وآخرون الى ان سبيكة الألمنيوم-12%سليكون الحاوية على 0.5% منغنيز,0.7%مغنيسيوم,1%زنك المعاملة بالأنصهار السطحي بالليزر تبدي تغيرا" واضحا" بطور السليكون حيث يتغير شكل السليكون من صفائح سميكة-(thick plate)الى حبيبات صغيرة جدا" والبنية المجهرية اصبحت ناعمة جدا" مع ارتفاع كبير في الصلادة ومقاومة البلى[6]

كما أشار الباحث H. Jiandong وآخرون الى ان سبيكة الألمنيوم-12% سليكون الحاوية على 1% حديد,1.23% نحاس ,0.93% مغنيسيوم المعاملة بالأنصهار السطحي بالليزر تظهر بلورات الألمنيوم الأبتدائية بشكل بيضوي كما ان اتجاه النمو متوافق مع المتجه {001} والبنية

المجهرية بين بلورات الألمنيوم هي عبارة عن يوتكتك مكون من الألمنيوم والسليكون وصفائح السليكون اليوتكتيكية تبدو انحف بكثير من الألمنيوم كما ان جميع السطوح بين يوتكتك السليكون والألمنيوم تبدو منتظمة[10].

ينتج عن عملية الصهر السطحي بالليزر التي تتميز بمعدلات تبريد عالية بنية دقيقة ناعمة مما يؤدي الى تجانس اكثر لتركيب المادة المنصهرة ويمتاز هذا التركيب بانه غالبا ما يكون اصلد واكثر مقاومة للتأكل من السطح غير المعامل[11].

ان التطبيقات الصناعية لعملية الصهر السطحي بالليزر فضلاً عن التصليد هي هيكلة السطوح او البناء السطحي Surface structuring والأختام (Sealing) والتسبيك السطحي (Surface Alloying) والنتردة (Nitriding) والصهر بالإخماد (Quenchin Melt واللحام (Welding) و Laser Liquid– Phase Epitaxy (LPE) و Laser Chemical Vapour Deposition (CVD)[12].

تحتاج عملية التصليد بالصهر السطحي إلى كثافة قدرة عالية مقدارها ($10^5 w/cm^2$) أعلى من تلك المستعملة في التسخين، وان الترتيبات لهذه العملية تشابه تلك التي في التصليد بالتحول الطوري واللحام، فيما عدا استخدام حزمة ليزر مبؤرة أو قريبة من التبؤر فوق السطح المراد صهره إذ تعمل هذه الحزمة على صهر طبقة سطحية رقيقة (Thin Surface Layer) في حين يكون السطح مغطى بغاز خامل او غير فعال ذلك لان حزمة الليزر غير المبؤرة لا تعطي كثافة القدرة اللازمة لرفع حرارة معظم المواد فوق نقطة الانصهار. فضلاً عن أن التبئير بعدسات بصرية يكون مطلوباً للإنتاج والسيطرة على كثافة القدرة ومساحة المنطقة المتأثرة بالحرارة (Heat Effected Zone Area) [2-3].

يمكن تصليد سطح المعدن كله بعمل ضربات ليزر متعددة ومتداخلة وذلك لتغطية المساحة المطلوبة وقد يحصل مراجعة نتيجة للتداخل (Overlap) مما يسبب انخفاضاً عاماً في الصلادة المايكروية للمناطق المتداخلة. وقد تم التغلب على هذه المشكلة كما أشرنا الى استعمال حزمة ليزر ذات تبئير دقيق[13].

2- الجانب العملي:

يتم في هذا الفصل تقطيع العينات بشكل اسطواني بطول 2cm , وبقطر 1 cmأجريت المعامله السطحيه بالليزر بطاقة 1جول وعلى شكل ضربات متداخلة شملت كل سطح العينة ومن ثم أجرى عليها اختبار البلى الانزلاقي الجاف باستخدام جهاز البلى نوع القرص والمسمار Pin-on-disk .

2-1السبيكه المستخدمه

تم استخدام سبيكة المنيوم-16% سليكون بعد اضافة مسحوق عنصر المغنيسيوم بنسبة 0.5% والنحاس والنيكل بنسبة 1% لكلا العنصرين للسبيكة بعد تقطيعها ووضعها في بودقة من الألومينا داخل فرن كهربائي من نوع (carbolit) واضافة العناصر الى المنصهر مع التحريك المستمر لضمان انتشار العناصر داخل السبيكة ومن ثم تمت عملية الصب في قالب رملي .

2-2التحليل الكيمياوي

تم اجراء التحليل الكيمياوي للسبيكة في المعهد المتخصص للصناعات الهندسية والجدول رقم(1) يمثل التحليل الكيمياوي للسبيكة المستخدمة.

2-3المعامله السطحيه بالليزر

تمت المعامله باستخدام جهاز الليزر من نوع نديميوم ياك Nd-YAG وتجرى عملية تنعيم وصقل للعينه قبل اجراء المعامله ، استخدمت عملية الصهر السطحي بالليزر لمعاملة العينات المحضرة من سبائك الألمنيوم، وذلك باستخدام ضربات متداخلة (Overlapped– pulses) وبطاقة 1 جول وبتردد يساوي (HZ)6.

2-4الفحص المجهري

تمت عملية الفحص المجهري باستخدام مجهر ضوئي مجهز بكاميرا وذلك لدراسة البنيه المجهريه قبل وبعد المعامله بالليزر وذلك بالخطوات التالية:

1- تنعيم العينات باستخدام ورقة كاربيد السليكون ذو درجة 500 و1000على التوالي.
2- صقل العينات باستخدام مسحوق الالومينا وقطعة قماش خاصه .
3- اجراء عملية اظهار للعينات باستخدام حامض الهيدروفلوريك Hf بتركيز 15% .

2-5اختبار البلى

تم اجراء اختبار البلى الانزلاقي الجاف للعينات قبل وبعد المعامله بالليزر مع تغير الحمل المسلط بأستخدام جهاز البلى الأنزلاقي نوع الحلقة والمسمار Pin-On-disk الشكل (2) والمتكون من قرص فولاذي صلادته 45 روكويل والذي يدور بسرعة (.500 rev/ min) بفعل محرك كهربائي. وضعت العينة بتماس مباشر مع القرص في أثناء الدوران مدة (10) دقائق تحت تأثير أحمال مسلطة مقدارها gm (500,1000,1500,2000) على التوالي، حيث توزن العينة بميزان حساس وذلك لحساب مقدار الفقدان في الوزن .

وبتطبق المعادلة:

$$\text{Wear Rate} = \frac{M_1 - M_2}{\pi s' v' t_1}$$

M_1 : كتلة العينة قبل التشغيل (gm)
M_2: كتلة العينة بعد التشغيل (gm)
S_1: قطر مسار العينة (cm)
V: السرعة الدورانية للقرص (rev/ min)
t: زمن الفحص (min)

3- النتائج – Results :

تشير النتائج التي امكن الحصول عليها جراء الفحوصات التي جرت على النماذج المستخدمة في البحث الى الحقائق التالية :

1-كانت الصلادة في السبيكة المصبوبة (95) وحدة فيكرز (Hv) ارتفعت بعد اضافة عناصر السبك الى (123) وحدة فيكرز (Hv) (جدول2) .

2-البنية المجهرية للسبيكة بعد اضافة عناصر السبك هي عبارة طور الألمنيوم وطور السليكون الذي يبدو على شكل صفائح سميكة شكل(6).

3-سجلت صلادة السبيكة بعد اجراء المعاملة السطحية بالليزر ارتفاع مذهل في الصلادة حيث وصلت الى (280) وحدة فيكرز (Hv) جدول(2).

4 - بعد المعاملة السطحية بالليزر للسبيكة المستخدمة لوحظ تغير في شكل طور السليكون من الشكل الصفائحي الخشن الى حبيبات ناعمة شكل (7).

5-ظهور اطوار وسطية في سبيكة الألمنيوم-16%سليكون بعد المعاملة بالليزرمثل طور Ni3Al,CuAl2.Mg2Siوهذا ماتوصل اليه باحثون آخرون [14]

6-يزداد معدل البلى للسبيكة المستخدمة مع زيادة الحمل المسلط قبل وبعد المعاملة بالليزر الشكلين (2),(3).

7-ادت عملية المعاملة السطحية بالليزر لسبيكة الألمنيوم-16%سليكون الى ارتفاع ملحوظ في مقاومة البلى مقارنة بالسبيكة بعد المعاملة الشكلين(2),(3).

4-مناقشة النتائج Discusion of Results:

تعد المعاملات السطحية بالليزر من أهم الطرق في التطبيقات الصناعية وذلك بسبب قابليتها على تحسين الخواص السطحية للمعادن والسبائك من خلال عمليات الصهر والإخماد بالليزر وكذلك بسبب عمليات التحول الطوري فضلا عن القدرة في السيطرة على معلمات الليزر.

في هذا البحث درس تأثير الليزر النبضي Nd-YAG في الطبقة السطحية لسبيكة المنيوم_سليكون بعد اضافة عنصري النحاس والنيكل اليها حيث تم قياس الصلادة الدقيقة ودراسة نتائج التركيب المجهري وفحص البلى للعينات قبل المعاملة بأشعة الليزر وبعدها.

عند ملاحظة الشكل(2) نجد ان معدل البلى يزداد مع زيادة الحمل المسلط للسبيكة المستخدمة ، اما عند اجراء المعاملة الحرارية السطحية بالليزر ومن ملاحظة الشكل (3) نجد ان معدل البلى يزداد مع

زيادة الحمل المسلط ايضا ، ولكن بشكل أقل بكثير مقارنة بالسبيكة قبل المعاملة ,لقد توصل باحثون آخرون الى ان معدل البلى للسبيكة المعاملة بالليزر يقترب من معدل البلى للسبيكة الأساسية كلما زاد زمن الفحص وذلك يعود الى حك الطبقة السطحية المتأثرة بالمعامل

عند الاحمال الواطئة يكون نوع البلى من النوع الطري (Mild Wear) وحطام البلى يكون عبارة عن جسيمات ناعمة إذ يتكون غشاء اوكسيدي واق يؤدي الى انخفاض مساحة التلامس بين العينة والقرص مما يؤدي الى معدل بلى قليل.

اما عند الاحمال العالية فيكون نوع البلى من النوع الشديد وتكون جسيمات حطام البلى كبيرة ومعدنية إذ تتكسر طبقة الاوكسيد المتكونة فيؤدي ذلك الى اتصال بمساحة كبيرة بين نتوءات السطحين المنزلقين ثم تتكسر تلك النتوءات وتنفصل عن السطح الشكلين (4),(5).

ان لقيمة الحمل تاثيراً مباشراً على التشوه اللدن الذي يحدث عند قمم النتوءات والمنطقة القريبة من السطح فتزداد كثافة الانخلاعات وتنشط حركتها لذا يزداد التشوه اللدن مع زيادة الحمل المسلط، ثم تنجمع الانخلاعات مكونة فجوات صغيرة تقترب من بعضها لتكون شقوقاً صغيرة وعندما تلتقي هذه الشقوق مع خطوط البلى تحصل ازالة لطبقات رقيقة من المعدن باتجاه الانزلاق لتكون حطام البلى .

لقد توصل باحثون آخرون [4] الى ان تكسر للسليكون الموجود في الطبقة تحت السطحية المتضررة من البلى عند الاحمال الواطئة اقل مقارنة بالاحمال العالية بسبب تاثير عملية التشوه اللدن المذكورة آنفا، كذلك حصول عملية تكور بسيطة للسليكون المتكسر بسبب الحرارة الناتجة عن احتكاك السطحين المنزلقين على بعضهما والتي تزداد مع زيادة الحمل المسلط.

من ملاحظة الجدول (1) نجد ان الصلادة للسبيكة المستخدمة ارتفعت بشكل كبير بعد المعاملة بالليزر ان السبب في زيادة قيمة الصلادة عند المعاملة الحرارية بالليزر لسبيكة ألالمنيوم– سليكون من الممكن ان يعزى الى الانصهار الحاصل في الطبقة السطحية للسبيكة الذي يسبب نقصانا في الحجم الحبيبي بسبب معدل التبريد العالي مما يعطي قوة أكثر تؤدي إلى زيادة قيمة الصلادة في السبيكة،بالأضافة الى وجود الأطوار الوسطية Mg2Si,Ni3Al,CuAl2 وهذا ما توصل إليه باحثون آخرون [14].

من ملاحظة الشكل (6) الذي يمثل البنية المجهرية للسبيكة قبل المعاملة بالليزر نجد أن بلورات السليكون الأكثر تركيزا في السبيكة تبدو واضحة في العينة المجهرية على شكل بلورات ابرية خشنة. هذا الشكل يكون بفعل نهايته الحادة مركزاً لتركيز الاجهادات وبالتالي إضعاف الخواص الميكانيكية للسبيكة.

بعد المعاملة بالليزر ومن ملاحظة الشكل (7) الذي يمثل البنية المجهرية للسبيكة المستخدمة بعد المعاملة بالليزر نجد ان بلورات السليكون قد تعرضت الى نقصان واضح في الحجم الحبيبي بسبب الارتفاع الهائل في درجات الحرارة وهذا يؤدي الى ان يكون تركيب السبيكة انعم واصلد.

يعزى التنعيم الحاصل في بلورات السليكون الى الانصهار الذي حصل في السطح نتيجة للامتصاصية الحاصلة بحزمة الليزر وان هذا الامتصاص يتركز في بلورات السليكون أكثر منه في الألمنيوم ذلك لأن انعكاسية السليكون اقل من انعكاسية الألمنيوم (الانعكاسية للسليكون 0.4 والانعكاسية للألمنيوم 0.98) لذلك فأن التركيز الحراري سيكون في البلورات جاعلة هذه البلورات تتفتت وتكون انعم.

5-الأستنتاجات-Conclussions:

على ضوء النتائج التي توصل اليها هذا البحث يمكن ان نستنتج مايلي:

1-يمكن تحسين خواص سبائك الألمنيوم سليكون بأضافة بعض العناصر التي عرف عن فعاليتها وكفائتها في هذه السبائك خصوصا في درجات الحرارة العالية مثل عنصر النيكل,النحاس,المغنيسيوم.

2- يمكن اجراء معاملات حرارية مختلفة على هذا النوع من السبائك لتحسين الخواص المطلوبة في مجال الصناعة.
3-من خلال دراسة المعاملة السطحية بالليزر يمكن القول ان هذا النوع من المعاملة يمكن بواسطته تصليد اجزاء صغيرة يصعب معاملتها تقليدياً بالأضافة الى سرعة ودقة عملية الاصلاد وعملية الاخماد تكون ذاتية كمايمكن الحصول على طاقة عالية لوحدة المساحة مقارنة بالمصادر الحرارية الاخرى.مع. قلة التشوهات الناتجة بعد الاصلاد.
4-لايمكن ان نقول ان مزايا المعاملة السطحية بالليزر تنفي وجود عيوب يصعب معها في بعض الأحيان اللجوء اليها فهي تمتلك محدودية في عمق الأختراق إذ يتطلب زيادة عمق اختراق الليزر الى استعمال طاقة عالية او ضربات متكررة مما يرفع من الكلفة الأقتصادية للمنظومة التي تكون مكلفة اصلا" كما يمكن القول ان الفجوات الناتجة عن استعمال الليزرتكون غير منتظمة. بالأضافة الى صعوبة السيطرة على حجم وشكل حزمة الليزر.

References

[1]E. Tillová, M. Panuková,(Effect Of Solution Treatment On InterMetallic Phases Morphology In AlSi9Cu3 Cast Alloy), Metabk 47(3) 207-210 (2008) .

[2]Tony Anderson Ceng,(The Differences Between Heat-Treatable and Non-Heat-Treatable Aluminum Alloys),Esab,Welding&Cutting ,United state (2010).

[3] المهندس سعيد عبد الغفار،) تكنولوجيا الالمنيوم) ، مؤسسة الاهرام بالقاهرة، الجزء الاول.

[4]د. محمد جاسم كاظم، رابحة صالح ياسين، (مجلة الهندسة والتكنولوجيا) ,المجلد 18- العدد1 (1999).

[5] R. Cornell and H. K. D. H. Bhadeshia,(Aluminium-Silicon Casting Alloys),university of Cambridge(1999).

[6]Hoaran Geng&yuchao Niu,(Laser surface strengthening process of Al-Si base alloy),J.Mater.sci.Technol.,Vol. 17 suppl.1,(2001).

[7]L.F.Mondolfo,(Aluminum Alloys:structure and properties),Butter worth‹s London ,(1976)

[8] L.A. Dobrzański,(Aluminum Alloys- Effect of Alloying Element), Key to Metals ,Switzerland(2003).

[9] Lee. Jonathan A.& Chen. Po-Shou ,(**Aluminum-silicon alloy having improved properties at elevated temperatures and articles cast therefrom),** (Washington, DC) , (2000).

[10]H. Jiandong, L. Yongbing and L. Zhang,(Pearlite-like eutectic of ZL 108 aluminium-silicon alloy containing rare-earth elements rapidly solidified by laser), Journal of Materials Science Letters Volume 9, Number 5, 587-588(1990).

[11] O. D. D Soaress ,(Applied Laser Tooling) university of porto 1987.

[12] H. G. Rubahn, (Laser Applications in Surface Science and Technology), (1999).

[13] S. S. Charschan, (Laser in Industry), van Nosstrand. Newyouk (1972).

[14] Witthaya Eidhed and Nattapon Viboonpun,(Effect of

Solution Treatment Time on Microstructure and Hardness of Al-Si-Cu-Ni Alloy) ,Department of Production Technology, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok(2008).

[15] Bahnam R.J., (The Effect of Laser Treatment on Fatigue and Wear Resistance of Carbon Steel), Msc. Thesis, University of Technology (1991).

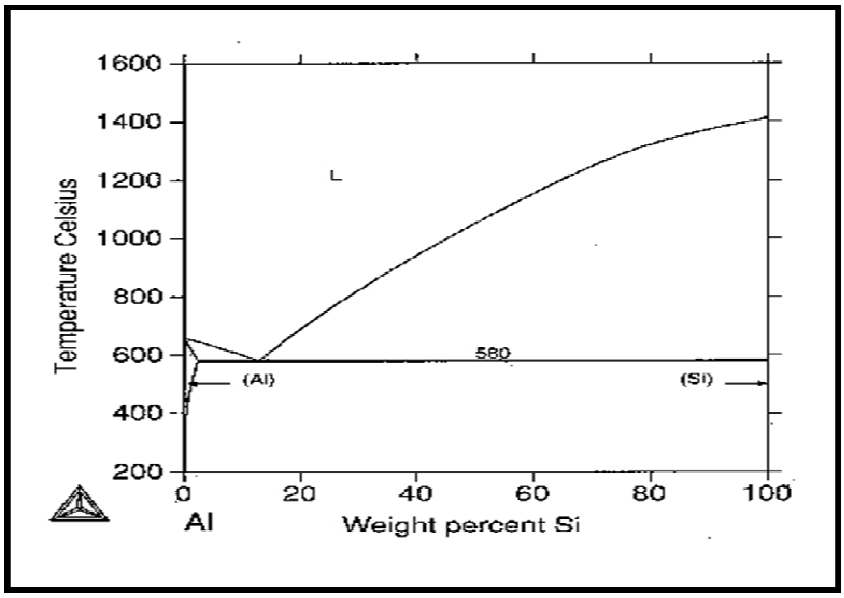
[16] باسل محمد علي العبيدي، (المعاملات الحرارية السطحية بالليزر للصلب الكربوني المنخفض)، اطروحة ماجستير، الجامعة التكنولوجية (1999).

جدول رقم (1)

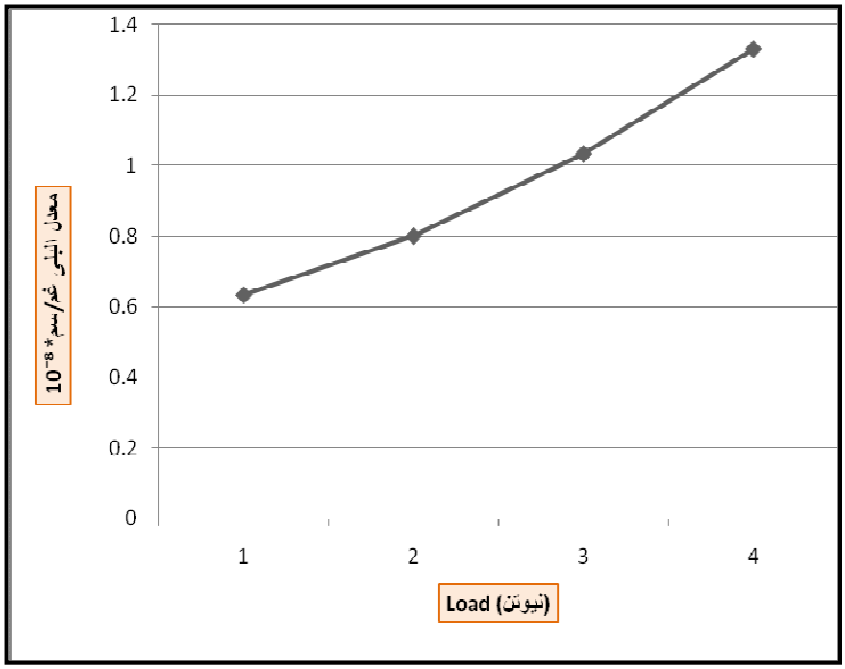
نوع السبيكة	الصلادة بمقياس فيكرز .Hv
سبيكة المنيوم -16%سليكون قبل اضافة العناصر	95
سبيكة المنيوم -16%سليكون بعد اضافة العناصر	123
سبيكة المنيوم -16%سليكون بعد اضافة العناصر والمعاملة بالليزر	280

جدول رقم(2) قيم الصلادة لسبيكة الألمنيوم-16%سليكون خلال مراحل مختلفة.

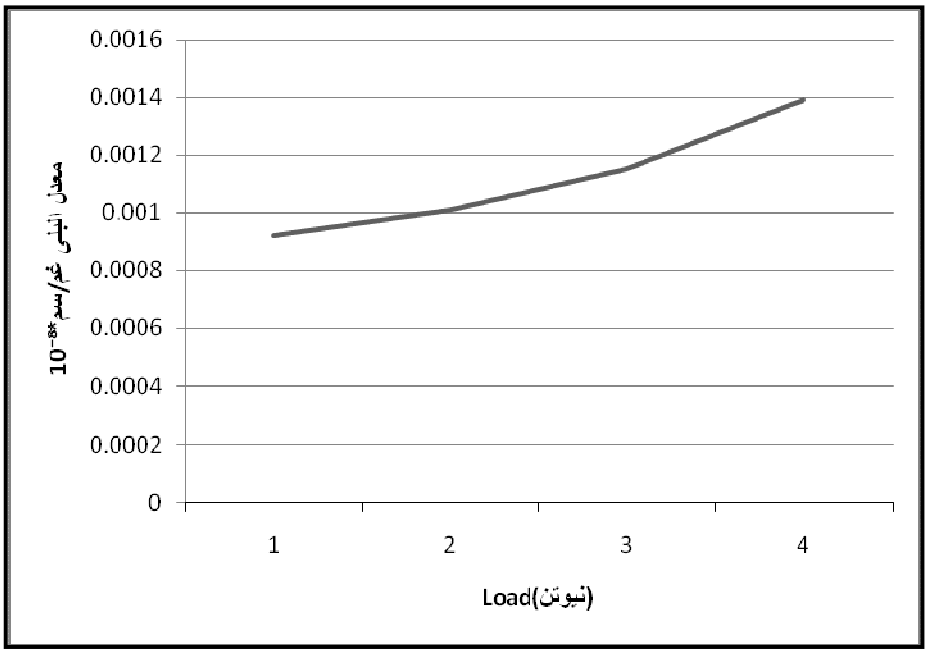
العنصر	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
Al-16%Si قبل اضافة عناصر السبك	16.72	0.52	0.09	0.091	0.3	0.330	0.2	0.452	0.0368	Rem
Al-16%Si بعد اضافة عناصر السبك	16.001	0.408	1.09	0.0662	0.542	0.0228	1.21	0.201	0.0257	Rem



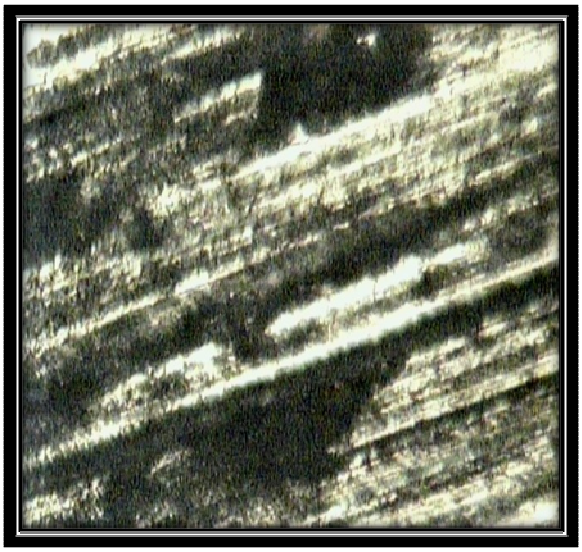
الشكل (1) يمثل مخطط التوازن الحراري لنظام Al-Si [5].



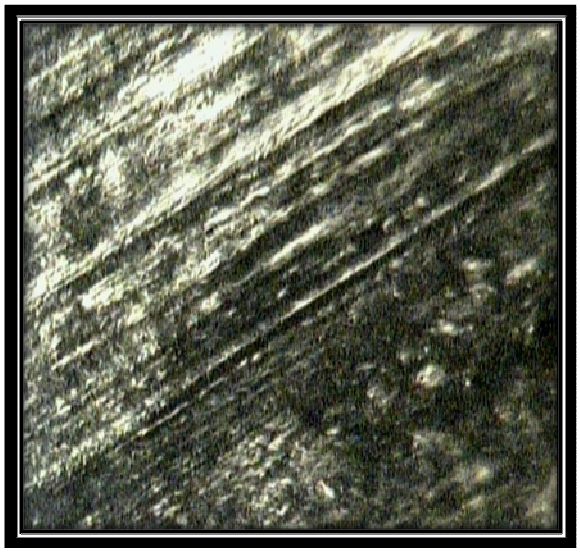
الشكل(2)العلاقة بين الحمل المسلط ومعدل البلى لسبيكة ألمنيوم-16%سليكون بعد اضافة عناصر السبك.



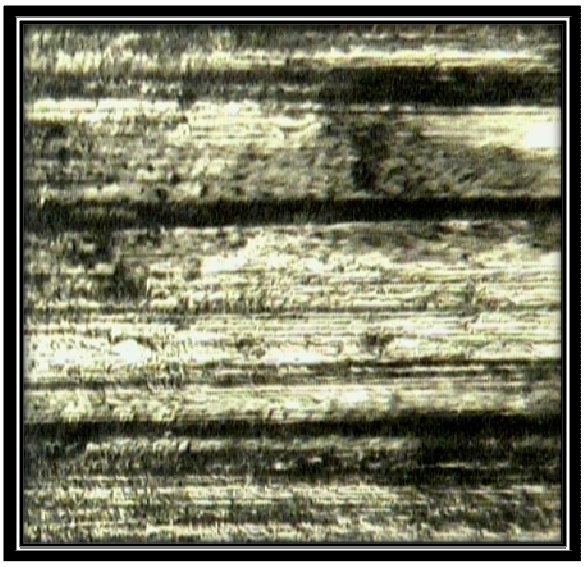
الشكل(3) العلاقة بين الحمل المسلط ومعدل البلى لسبيكة الألمنيوم-16%سليكون بعد المعاملة السطحية بالليزر.



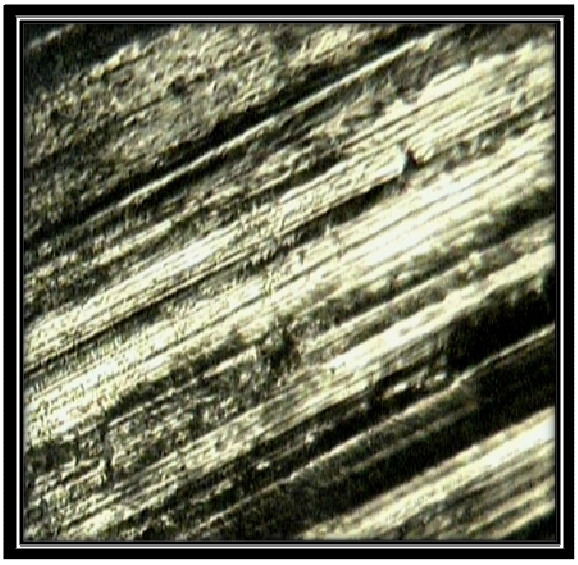
Load = 500 gm



Load = 1000 gm

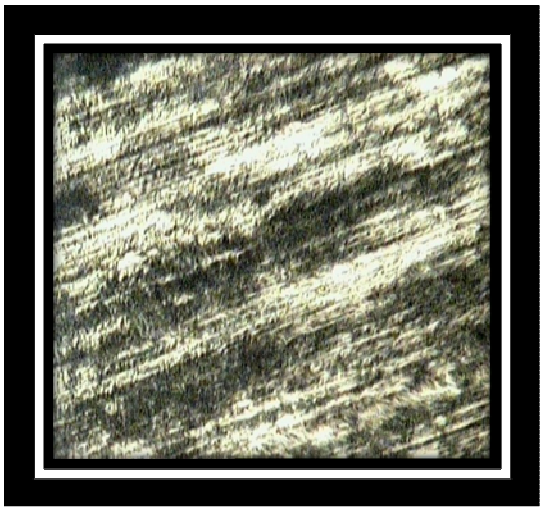


Load = 2000 gm

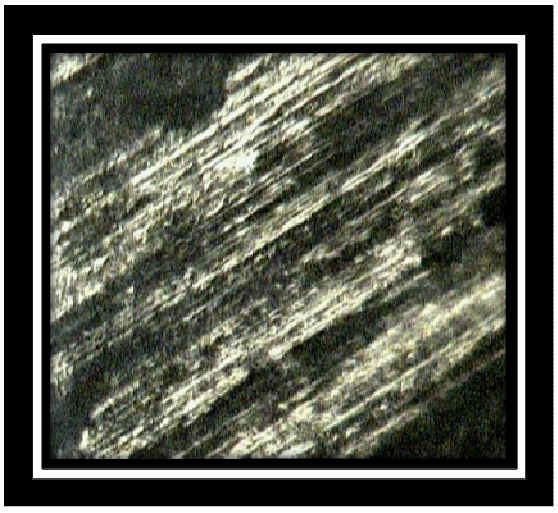


Load = 1500 gm

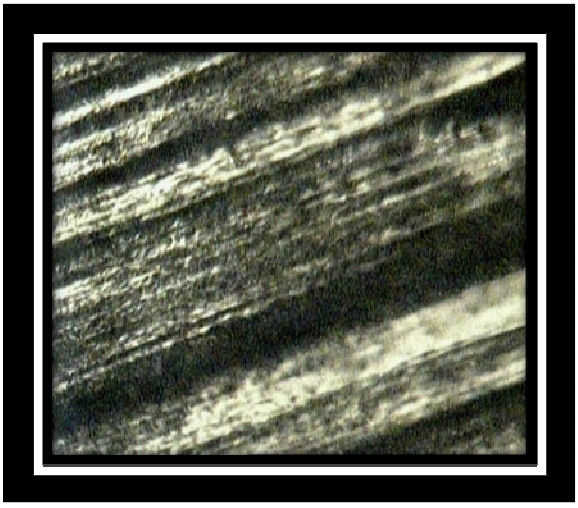
الشكل(4) يوضح الأسطح المتضررة من البلى لسبيكة Al-16%Si بعد اضافة عناصر السبك باحمال مختلفه قوة التكبير X12.5.



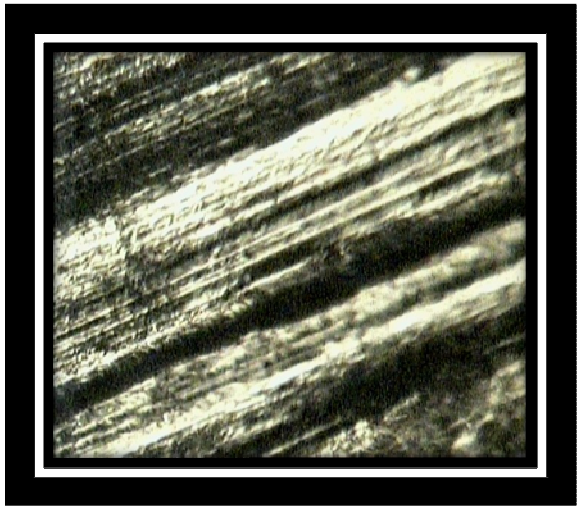
Load = 500 gm



Load = 1000 gm

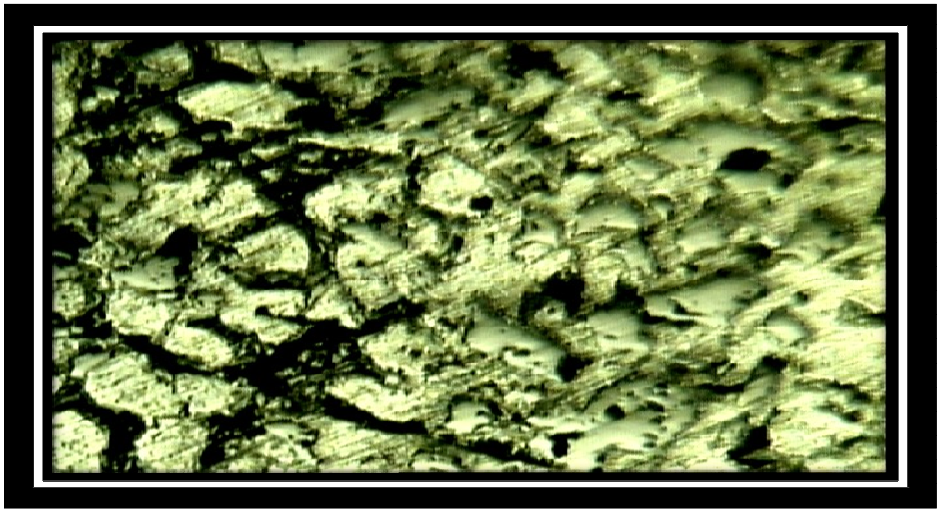


Load = 2000 gm

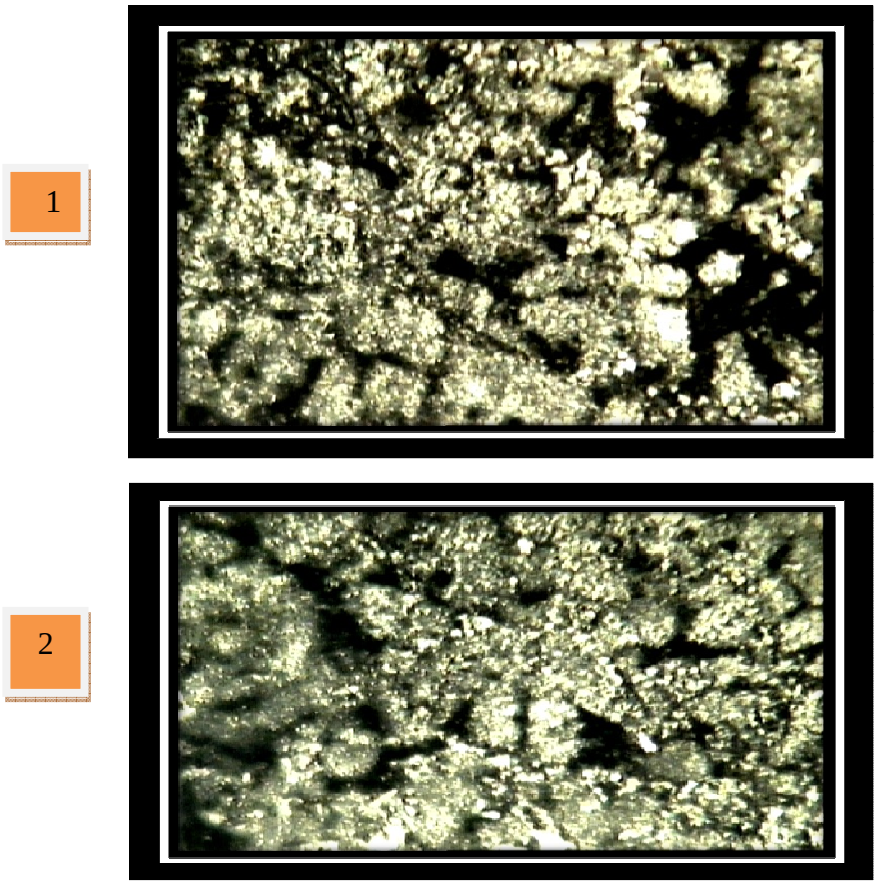


Load = 1500 gm

الشكل(5) الأسطح المتضررة من البلى لسبيكة Al-16%Si بعد المعاملة السطحية بالليزر باحمال مختلفه قوة التكبير X12.5.



الشكل (6) البنية المجهرية لسبيكة الألمنيوم -16% سليكون بعد اضافة عناصر السبك.



الشكل (7) البنية المجهرية لسبيكة المنيوم سليكون بعد المعاملة بالليزر الصورة رقم واحد عند موقع ضربة ليزر والصورة رقم 2 عند موقع ضربة أخرى