Influence of Heat Treatment on Microstructure and Wear of Aluminium 359.0 Alloys

Dr. Mohammed Saead Wahead
Applied science Department, University of Technology /Baghdad
Huwaidah Ibrahim Ahmed
Production&metallurgy Engeneering Department, University of Technology /Baghdad
Email:Hudhud.abraheem@yahoo.com

Received on: 2 /5 /2012 & Accepted on: 4 /10 /2012

ABSTRACT

The aim of this work is to study wearing of alloy 359.0 which are (Al-9%Si) before and after heat treatment. First heat treatment is precipitation hardening ,Second Laser surface treatment ,The microstructure after precipitation process and laser application effected on the hardness and wear rate.

تأثير المعاملات الحرارية على البنية المجهرية والبلى لسبيكة الألمنيوم359.0 .

الخلاصة

تضمن البحث دراسة خواص البلى للسبيكة 359.0 وهي من سبائك الألمنيوم الحاوية على 9%Si قبل وبعد اجراء المعاملات الحرارية,تضمن البحث محورين اولهما اجراء عملية الأصلاد بالترسيب , والمحور الثاني اجراء عملية الاصلاد السطحي باشعة الليزر، اظهرت النتائج ان طبيعة البنية المجهرية الناتجة بعد عملية الأصلاد بالترسيب والمعاملة السطجية بالليزر تؤثر تأثيرا كبيرا على الصلادة ومعدل البلى.

الكلمات الدالة:البلى, الأصلاد بالترسيب,الليزر,الصلادة

المقدمة

تعد سبائك (Al-Si) الحاوية على نسبة (4-13)% سليكون من اهم سبائك الألمنيوم المصبوبة كونها ذات خواص صب ممتازة [1]. إذ انها تتميز بسيولة عالية وانكماش قليل وذات مقاومة عالية للتمزق على الساخن وتتميز ايضا بمقاومة تآكل كيمياوي وقابلية لحام جيدة [2]. يكون التركيب المجهري الدقيق لهذه السبائك عبارة عن سليكون اولي في اساس من اليوتكتيك الخشن ويمكن تحسين بنية السليكون بصورة كبيرة بعملية التحوير (Modification) والتي تتم باضافة عناصر مثل Na,Sr,Sb الى منصهر السبيكة وقبل الصب تماماً [3,4,5].

https://doi.org/10.30684/etj.31.6B.12
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

يعد الليزر من الوسائل المهمة والفعالة في عملية التصليد السطحي اذ يتم تسليط الطاقة بدقة على السطح وفي المنطقة المراد معاملتها فقط [6]. اذ تتم معاملة مواقع محددة من اجزاء هندسية ليس من الضروري معاملتها بهيئتها الكاملة مثل اجزاء المكائن التي يجب ان يكون سطحها صلدا ومقاوما" للبلى والتآكل والكلال وفي الوقت نفسه يكون الجزء الداخلي ذا متانة عالية تكفي لمقاومة الاجهادات الديناميكية والصدمات، وتتم عملية الاصلاد السطحي بالليزر دون تغيير الخواص الميكانيكية لبقية الاجزاء التي لم تتم معاملتها[7]. يتميز الليزر بامكانية تبئير شعاعه الى كثافات قدرة عالية جدا وذلك لطبيعته التشاكهية وان استعمال تدفق ذي شدة عالية ينتج تسخيناً اقل ومعدلات تبريد اعلى ولن تكون ضرورة لاجراء عملية الاخماد الخارجي [8] .ان الحرارة المتولدة بسبب امتصاص الطاقة العالية لشعاع الليزر تكون عالية جداً إذ يصل السطح بسرعة الى درجة الانصهار، ولهذا فان هذا التأثير مهم جداً لأشعة الليزر ولاستعمالها لتحسين الخواص الميكانيكية للعديد من سبائك الالمنيوم وخاصة سبائك الالمنيوم– سليكون، [9]. لغرض اجراء عملية الصهر السطحي بالليزر يتم وضع سطح المعدن المراد صهره قرب مركز التبؤر لحزمة الليزر ولاجل السيطرة على حجم بركة المنصهر (Melt pool) وجريان المعدن داخلها يتم التحكم بصورة فائقة بكثافة القدرة وزمن بقاء الحزمة [10].

يعرف البلى على انه الفقدان التدريجي من احد السطحين المتلامسين او كليهما[11] ولأجل حدوث ميكانيكة البلى يجب ان يكون السطحين تحت تأثير حركة نسبية [12] ويمكن تعريفه على انه التغير الحاد في مظهر السطح وازالة المادة منه. يعزى البلى الى التفاعلات بين السطوح ويمكن القول انه ازالة وتشوه المادة عند السطح كنتيجة للتأثير الميكانيكي للسطح الأخر [13]. ويمكن تخفيف مضار البلى عن طريق التزييت والطلاء او المعاملات الحرارية[14].

الجزء العملي

السبيكة (Al-9%Si)

تتكون من الالمنيوم اساسا مع 9% سليكون وعناصر اخرى، تم تحضيرها باستعمال السبيكة (Al-12%Si) بعد اضافة عنصري الالمنيوم والمغنيسيوم بنقاوة عالية وبكميات مناسبة اليها. اجريت عملية الصهر داخل فرن كهربائي من نوع (Carbolite) باستعمال بودقة سيراميكية من الالومينا وبدرجة حرارة صهر (750م°) ولمدة 20 دقيقة. ثم صب المنصهر في قالب معدني اسطواني بقطر (5cm) وطول(10cm).

التحليل الكيميائي

تم اجراء التحليل الكيميائي باستعمال جهاز نوع (ARL-3600) والجدول (1) يبين التحليل الكيميائي للسبيكة AL-9%Si .

الجدول رقم(1)يمثل التركيب الكيمياوي للسبيكة AL-9%Si

Alloy Type	Element Wt%										
	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Zn	Ti	Cr	Ni	Sn	Al
Al-12%Si	9.04	0.15	0.53	0.1	0.1	0.93	0.008	-	0.011	0.001	Rem

الأصلاد بالترسيب

تم اجراء عملية الأصلاد بالترسيب للسبيكة المستخدمة بأجراء الخطوات التالية:

المعاملة المحلولية Solution Treatment

تم اجراء المعاملة المحلولية باستعمال الفرن الكهربائي نفسه وكانت درجة حرارة المعاملة للسبيكة (Al-9%Si) هي (540م°) وبزمن 10 ساعات وذلك حسب الجداول العالمية التي تطابق التحليل الكيميائي للسبيكة.

الاخماد Quenching

بعد انتهاء زمن المعاملة المحلولية تم اخراج النماذج من الفرن وتم تبريدها تبريدا سريعا بوساطة اخمادها بالماء الى درجة حرارة الغرفة.

التعتيق الاصطناعي Artificial aging

اجريت عملية التعتيق الاصطناعي للسبيكة (Al-9%Si) بدرجة حرارة (170م°) وبازمان مختلفة هي على التوالي (24،16،12،6،3) ساعة داخل فرن كهربائي من نوع carbolite تم تبريد العينات بالهواء.

المعاملة بالليزر Laser Hardening

تم تحضير العينات قبل المعاملة بالليرز وذلك بتنعيمها بورق من كاربيد السليكون ذي احجام (120،320،500،1000) ثم اجريت عملية الصقل باستعمال مسحوق الالومينا ذي حجم حبيبي (0.5) مايكرون ثم باستعمال معجون الماس ذو حجم حبيبي (0.3) مايكرون اعقب ذلك غسل العينات بالماء والكحول وتجفيفها بعد ذلك تمت معاملتها بالليزر بطاقات مختلفة (2،5.1،2.1،1) جول وبمعدل ضربة واحدة لكل عينة بأستعمال منظومة ليزر النيديميوم- زجاج النبضي (Pulsed Nd-Glass Laser) ذي مرحلة واحدة .

فحص الصلادة المجهرية (Hardness Test)

لقياس الصلادة المجهرية تم استعمال جهاز نوع [Letz Wetzlar Germeny 8397] ذي اداة تغلغل ماسية هرمية الشكل مربعة القاعدة ذات زاوية رأسية مقدارها (136°) وبحمل مقداره (300 غم) مدة 30 ثانية.

ولقياس الصلادة الماكروية للسبائك الاساسية والمعاملة تقليديا تم استعمال جهاز الصلادة نوع Hensddt Wetzlar No. 23298وذلك بتسليط حمل مقداره 500 غم. قوة .

المعاملة بالليزر

تم تحضير العينات قبل المعاملة بالليرز وذلك بتنعيمها بورق من كاربيد السليكون ذي احجام (120،320،500،1000) ثم اجريت عملية الصقل باستعمال مسحوق الالومينا ذي حجم حبيبي (0.5) مايكرون اعقب ذلك غسل العينات بالماء والكحول وتجفيفها بعد ذلك تمت معاملتها بالليزر بطاقات مختلفة (2،1.5،1.2،1) جول وبمعدل ضربة واحدة لكل عينة.

تحضير عينات البلى

لقد تم تشغيل السبيكة قبل اجراء المعاملات الحرارية المختلفة على المخرطة للحصول على عينات اسطوانية بقطر ٥ملم وبطول 20ملم. بعد ذلك تم تحضير العينات بنفس الطريقة المذكورة في الفقرة اعلاه,و اجري اختبار البلى بظروف ثابتة هي

١. مسافة الانزلاق 5سم.

٢. الحمل العمودي المسلط 20 نيوتن

٣.صلادة القرص 45 HRC.

ظروف الاختبار للعينات المعاملة بالليزر تمثل نفس الثوابت السابقة في الفقرة أعلاه مع العلم ان زمن الاختبار الكلي 30 دقيقة، اجري على شكل ست مراحل كل مرحلة خمس دقائق.

حساب معدل البلى

تم حساب معدلات البلى باستعمال الطريقة الوزنية (The weighting Method) تتضمن هذه الطريقة حساب الفقدان بالوزن للعينة وذلك بوزن العينة قبل وبعد التشغيل بوساطة ميزان رقمي حساس (0.0001) غرام من نوع (Mettler AE160) وبقسمة الكتلة المفقودة على مسافة الانزلاق يحسب معدل البلى، بوساطة الصيغة الرياضية الاتية:

$$(\text{wear rate}) = \frac{\Delta w}{S_D} \text{ (غم/سم)} \qquad \dots (1\text{-}2)$$

Δw : الكتلة المفقودة (غرام) وهو عبارة عن الفرق بالكتلة للعينة قبل وبعد الاختبار أي ان الفقدان

$\Delta w = w_1 - w_2$

w_1: كتلة العينة قبل الاختبار (غرام).

w_2: كتلة العينة بعد الاختبار (غرام).

S_D: مسافة الانزلاق (سم) (2-2) ..... $S_D = 2\pi rnt$

r: نصف القطر من مركز العينة الى مركز القرص (سم).

n: عدد دورات القرص (دورة/دقيقة).

t: زمن الاختبار (دقيقة).

البنية الدقيقة للطبقات تحت السطحية

لاجل دراسة التضرر الحاصل للطبقات التحت السطحية للسبائك يتم اجراء عملية الصقل المائل (Oblique polishing) وتتضمن هذه العملية وضع سطح العينة المتضرر (worn surface) على قطعة معدنية صغيرة (plate) وبزاوية (4°-5) بحيث تكون خطوط او اثار البلى عمودية عليها وكما موضح في الشكل (1) بعد ذلك يتم اسناد العينات على البارد باستعمال مسحوق بلاستيكي يخلط مع مادة مصلدة وبنسبة 1:2 ثم يمزج الخليط ويسكب على العينة الموضوعة في قالب بلاستيكي ثم تتم اخراج العينة من قالب الاسناد بعد مرور حوالي 30 دقيقة، ثم يتم تحضيرها لتصبح العينات جاهزة للفحص المجهري الدقيق، بعد ذلك يتم دراسة البنية المجهرية للطبقات تحت السطحية وملاحظة التشويه والكسر على اسطح البلى.

النتائج والمناقشة

دراسة تاثير المعاملات الحرارية على البنية المجهرية

تجرى عملية الفحص المجهري لتوضيح التغير في البنية المجهرية للسبيكة المستعملة قبل وبعد المعاملة الحرارية، فعند ملاحظة الشكل (6) نجد ان البنية المجهرية للسبيكة كما صبت هي عبارة عن الايوتكتيك المتكون من الالمنيوم والسليكون في ارضية من الالمنيوم

عندما تجرى عملية الاصلاد بالترسيب للسبيكة (Al-9%Si) تظهر ثلاثة اطوار تختلف توزيعاتها ونسب تواجدها حسب زمن ودرجة حرارة التعتيق وهي طور الالمنيوم وطور السليكون الذي يكون على شكل جسيمات خشنة وطور المركب الوسطي Mg_2Si الذي يكون على شكل دقائق صغيرة ناعمة تترسب بمراحل يمكن تمثيلها بالشكل الاتي:

$$Super\ Saturated\ \alpha \rightarrow Gp\ Zones \rightarrow \beta' \rightarrow \beta(Mg_2Si)$$

تتميز المراحل الاولى من الترسيب بوجود محلول غني بذرات مذابة من Si,Mg تتخذ مواقعها على الشبكة البلورية للطور الاساس (الالمنيوم) وتسمى بمناطق جونيور برستون (Gp Zones) وفي المرحلة الثانية تظهر جسيمات الطور β' وهو عبارة عن المركب Mg_2Al، تركيبة البلوري عبارة عن مكعب متمركزة الوجه (fcc) وله ثابت شبيكة مقداره (0.64nm) وتكون جسيماته على شكل قضبان تعيد نفسها على طول المحور الموازي للاتجاه <١٠٠> للطور الاساس [15].

ثم يتكون الطور β' اي المركب Mg_2Si تركيبه البلوري عبارة عن مكعب متمركز الوجه ايضا وبثابت شبيكة مقداره (0.639nm) ويعتقد بصورة عامة ان تحول β' الى β سببه انتشار الذرات التي تعيد ترتيب نفسها مع تغير طفيف في درجة الترابط ما بين المترسب والطور الاساس.

عند ملاحظة الشكل (7) نجد ان شكل السليكون قد تغير من الشكل الابري (الشجيري) الى شكل صفائح (Lamellae) تقريبا ويعزى ذلك الى عملية التقسية التي تتبع المعاملة المحلولية للسبيكة والتي تسبب انحراف السطح البيني الخشن (Rough interface) عن اتجاهات نمو البلورات مما يؤدي الى تحوير شكل سليكون، كما وجد ان عملية التقسية تؤدي كذلك الى تقليص كثافة حدود التوأمة (Twin boundaries) وفشل التراص (Stacking faults) للسليكون[15].

عند ملاحظة الشكل (8) الذي يمثل البنية المجهرية للمنطقة المعاملة باشعة الليزر بطاقة 2 جول، نستنتج ان المعاملة السطحية بالليزر للسبيكة (Al-9%Si) قد ادت الى الحصول على تركيب بلوري ناعم للسليكون وبنية مجهرية غير متجانسة وهذا يعود الى ان شعاع الليزر عندما يضرب سطح السبيكة يسبب انصهاراً سريعاً جدا بسبب درجة الحرارة العالية الناتجة عن امتصاصية السطح لطاقة شعاع الليزر وان هذا الامتصاص يتركز في جسيمات السليكون اكثر من الالمنيوم وذلك لان انعكاسية الالمنيوم والتي تبلغ 98% اكبر بكثير من انعكاسية السليكون والتي تبلغ 40% ثم تلي عملية الانصهار عملية تبريد ذاتي سريعة وبالنتيجة سوف تتكسر دقائق السليكون لتعطي تركيباً ناعماً يتميز بخصائص ميكانيكية افضل.

دراسة تاثير المعاملات الحرارية على الصلادة

تتاثر الصلادة بالمعاملات الحرارية تاثرا واضحا يختلف حسب نوعية تلك المعاملات من ناحية طريقة اجرائها، ونوعية عناصر السبك، ودرجة الحرارة والفترة الزمنية التي تتم خلالها ففي حالة اجراء عملية الاصلاد بالترسيب للسبيكة (Al-9%Si) بدرجة حرارة معاملة محلولية 540 م^{o} وبدرجة حرارة تعتيق 170م^{o} الشكل(2) نلاحظ ان الصلادة تزداد مع زيادة زمن التعتيق حتى تصل الى اعلى قيمة لها عند زمن 6 ساعة ويعود ذلك الى تكون مناطق جونيور برستون .Gp Zones في المراحل الاولى من التعتيق وهي تزيد من قيمة الصلادة ثم تكون الطور β' أي المركب غير المستقر Mg_2Al والذي يرتبط بالطور الاساس ويزيد اكثر من قيمة الصلادة ثم يتكون الطور β أي المركب المستقر Mg_2Si الصلد والذي يكسب السبيكة خواص مقاومة جيدة وهذا ما اكدته نتائج فحص حيود الاشعة السينية الجدول (١) ثم تنخفض الصلادة عند زمن تعتيق 24 ساعة بسبب فقدان انفعالات التطابق بين الطور Mg_2Si والطور الاساس.

اما عند اجراء المعاملة الحرارية السطحية بالليزر ومن ملاحظة الشكل (3) الذي يمثل العلاقة بين طاقة شعاع الليزر والصلادة عند مركز الضربة، نجد ان الصلادة الدقيقة للسبيكة (Al-9%Si) تزداد مع زيادة طاقة شعاع الليزر وذلك بسبب تنعيم طور السليكون وتكون الاطوار Mg_2Al، Mg_2Si في حالة السبيكة (Al-9%Si) وهذا ما اكدته نتائج فحص حيود الاشعة السينية ايضا الجدول (2) وهذه المركبات الوسطية تزيد من صلادة السبيكة .

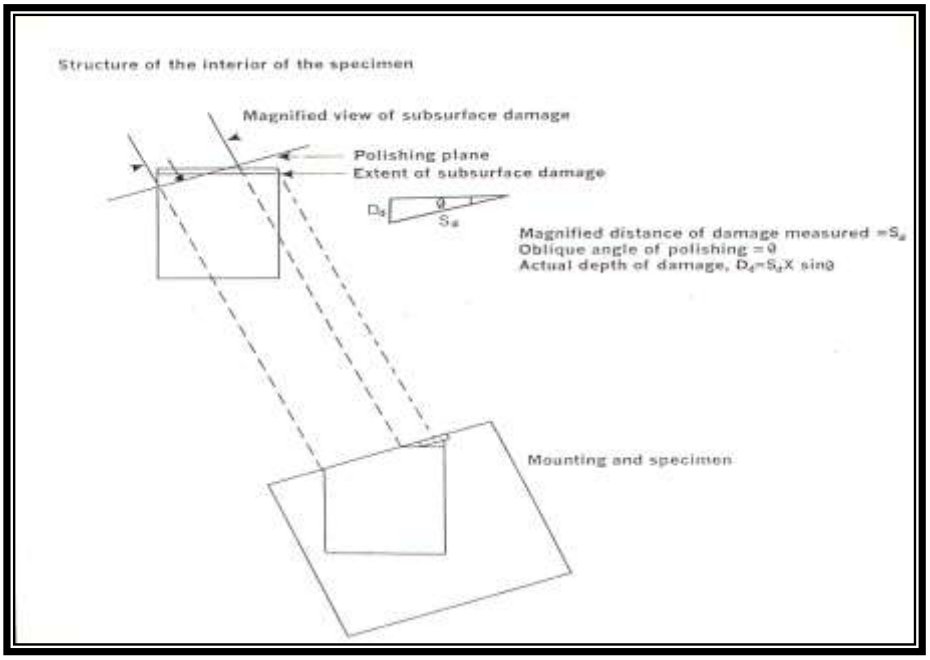
دراسة تاثير المعاملات الحرارية على معدل البلى

ومن ملاحظة الشكل (4) ايضا نجد ان معدل البلى للسبيكة (Al-9%Si) المعاملة بالاصلاد بالترسيب، يقل بنسب مختلفة الى ما دون معدله للسبيكة الاساسية عند ظروف

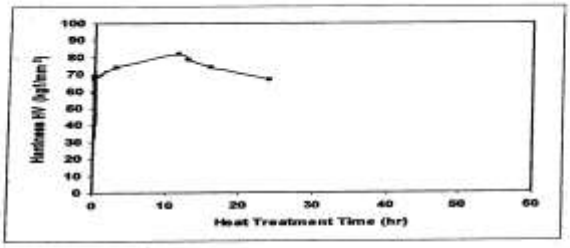
الاختبار نفسها تبعا لقيمة الصلادة المقاسة عند جميع ازمان التعتيق وذلك لان الاطوار التي تتكون بعد التعتيق والتي ترفع من قيمة الصلادة عند ارتباطها بالشبكة الاساس، تلعب دورا هاما في تخفيض الية التشوه اللدن، إذ تعيق حركة الانخلاعات والتي تكون حركتها عاملا اساسيا في تكون الشقوق والفجوات على السطح اما عند اجراء المعاملة الحرارية السطحية بالليزر ومن ملاحظة الشكل(5) نجد ان معدل البلى يزداد مع تكرار مراحل فحص البلى للسبيكة (Al-9%Si)، علما ان كل مرحلة تمثل زمن فحص مقداره ٥ دقائق اجريت بظروف الاختبار نفسها ، وذلك لان تكرار الفحص لنفس العينة يؤدي الى حك الطبقة السطحية المصلدة مما يرفع من معدل البلى.

الاستنتاجات

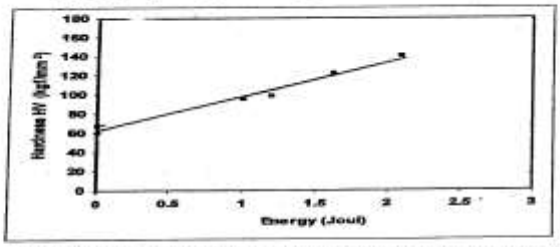
١. حدوث عملية تكسر للسليكون في المنطقة تحت السطحية المتضررة من البلى للسبيكة (Al-9%Si) الاساسية تزداد مع زيادة الحمل المسلط.
٢. تؤدي عملية التقسية بعد المعاملة المحلولية للسبيكة المستخدمة الى تحوير شكل السليكون من الشكل الابري (الشجيري) الى شكل صفائح (Lamellae) تقريبا.
٣. ظهور عدة اطوار بعد اجراء عملية التعتيق هي طور الالمنيوم وطور السليكون وطور Mg_2Al وطور Mg_2Si.
٤. تؤدي عملية الاصلاد بالترسيب للسبيكة الى زيادة ملحوظة في قيمة الصلادة حتى تصل الى اعلى قيمة لها عند فترة تعتيق (12) ساعة ثم تنخفض قليلا، كما تؤدي الى انخفاض واضح في قيمة البلى.
٥. تؤدي عملية المعاملة الحرارية السطحية بالليزر الى حصول تنعيم في التركيب البلوري للسليكون وزيادة كبيرة في قيمة الصلادة وانخفاض واضح في قيمة معدل الب



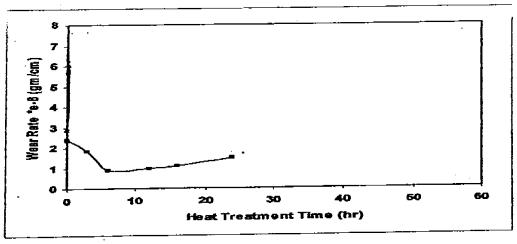
الشكل (1) طريقة الأسناد والصقل المائل للعينة المتضررة.



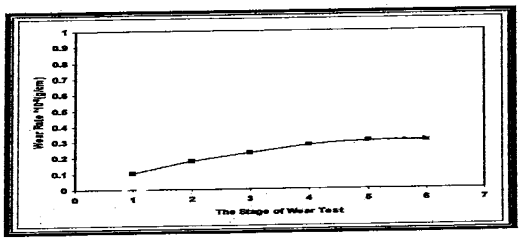
الشكل (2) العلاقة بين زمن التعتيق والصلادة الفيكرية للسبيكة Al-9%Si



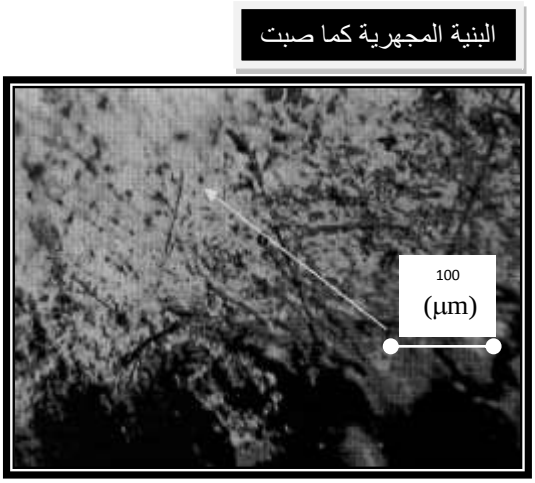
الشكل(3) يمثل العلاقة بين طاقة شعاع الليزر والصلادة الدقيقة عند مركز البثرة

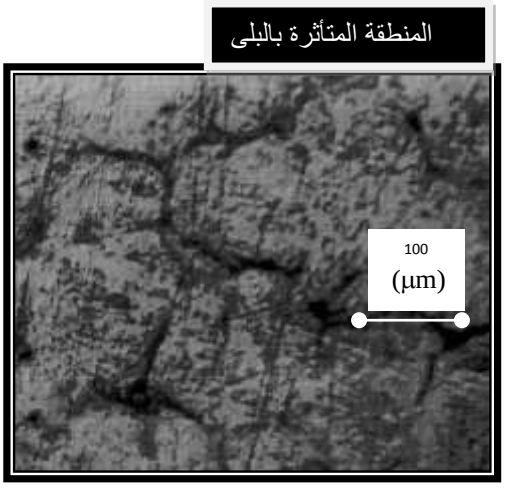


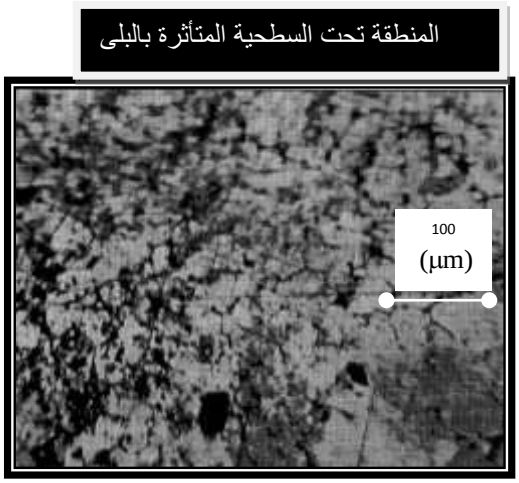
الشكل (4) العلاقة بين زمن التعتيق ومعدل البلى للسبيكة Al-9%Si



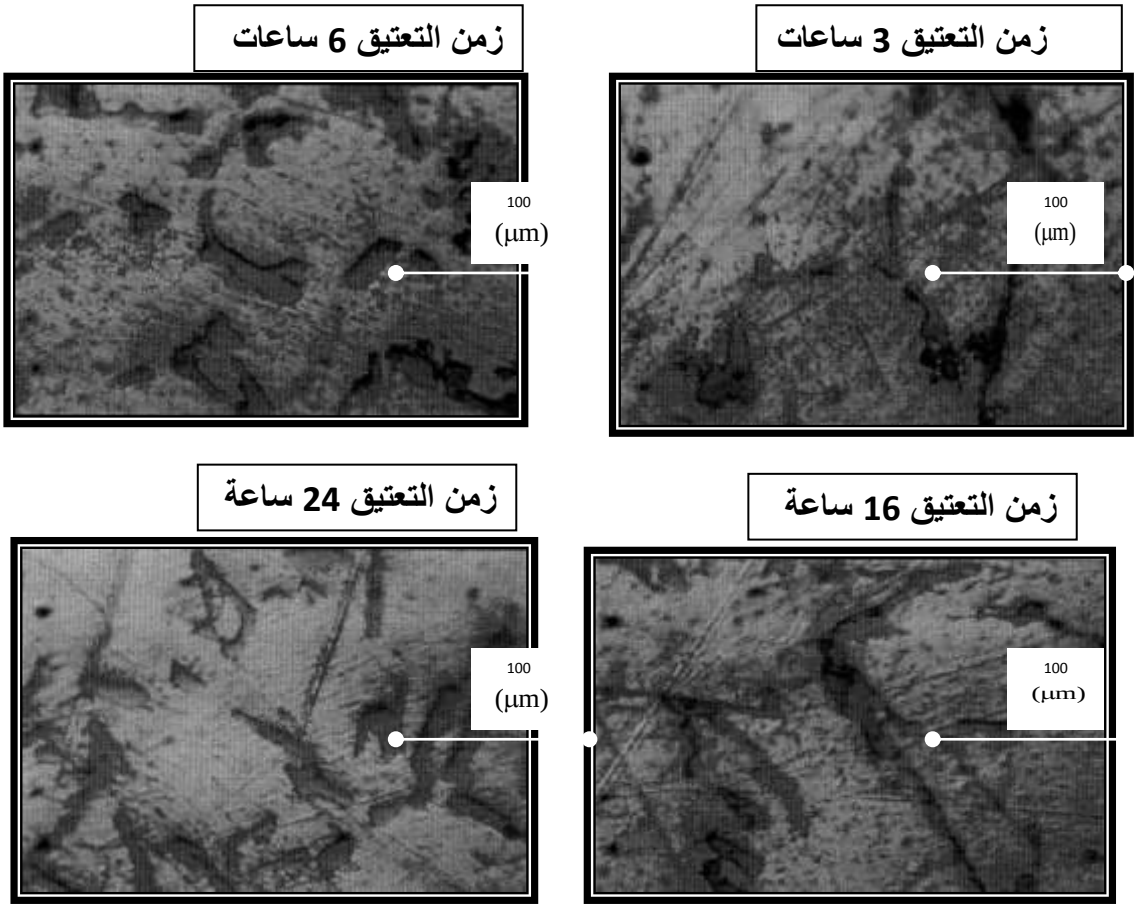
الشكل(5) العلاقة بين مراحل فحص البلى ومعدل البلى للسبيكة المستخدمة عند طاقة 2 جول



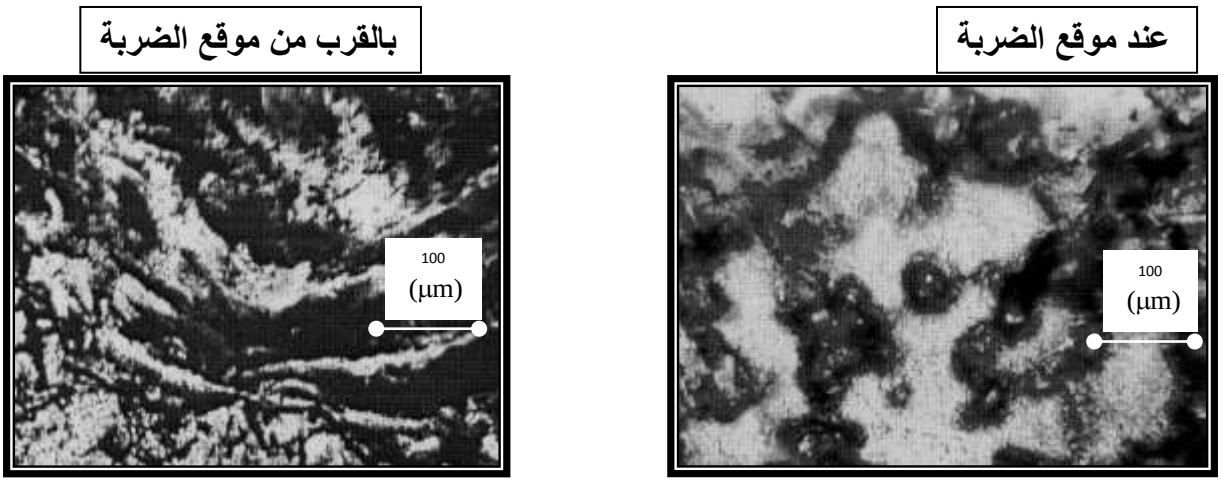




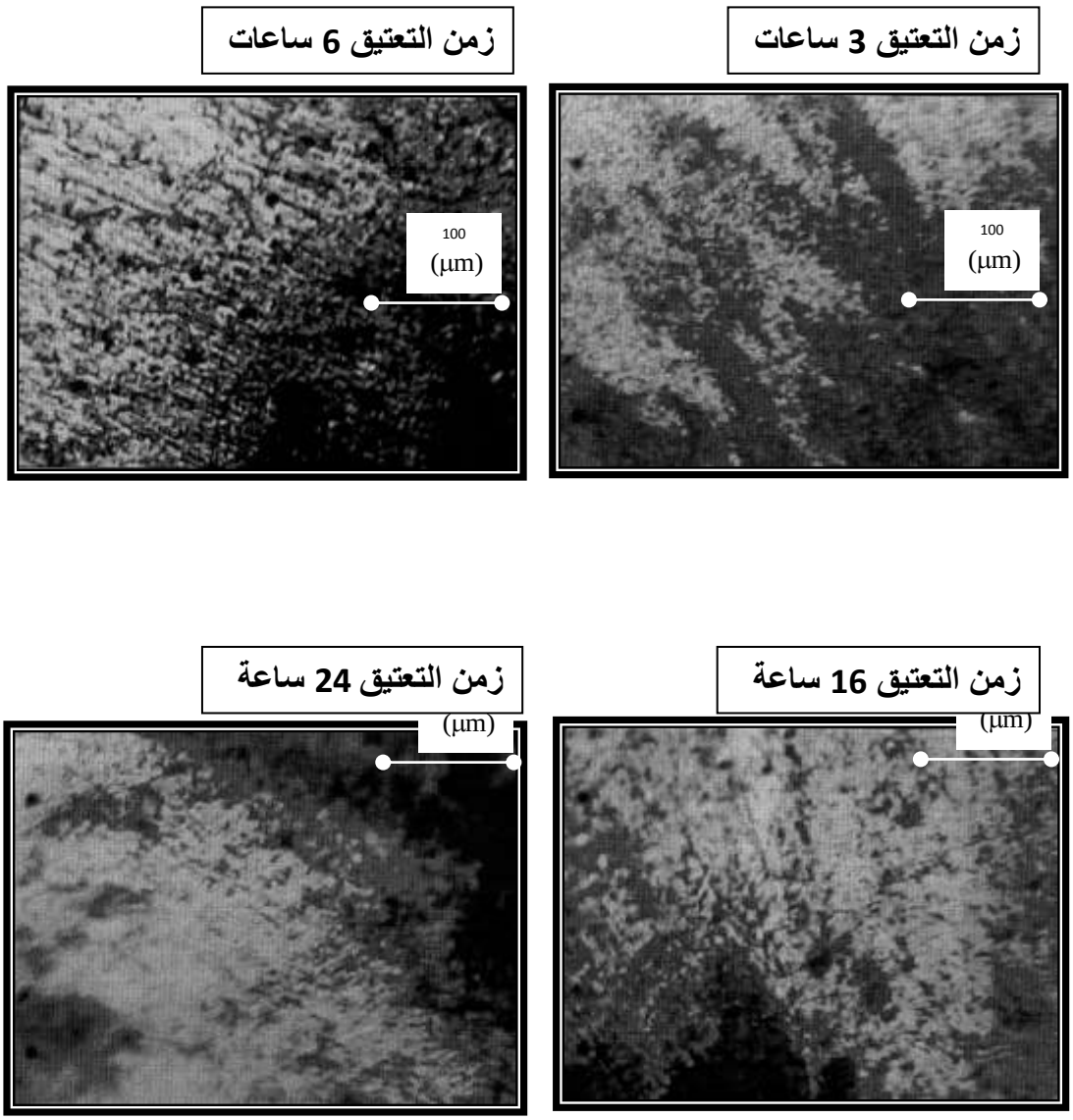
الشكل(6)البنية المجهرية للسبيكة AL-9%Si كما صبت بالأضافة الى البنية المجهرية للمنطقة المتأثرة من البلى وتحت السطحية المتأثرة من البلى.



شكل (7) البنية المجهرية الاساسية للسبيكة (Al-9%Si) بعد اجراء المعاملة بالاصلاد بالترسيب بدرجة حرارة معاملة محلولية 540م° ودرجة حرارة تعتيق 150م°.



الشكل(8) البنية المجهرية للسبيكة AL-9%Si بعد اجراء الأصلاد السطحي بالليزر بطاقة 2جول.



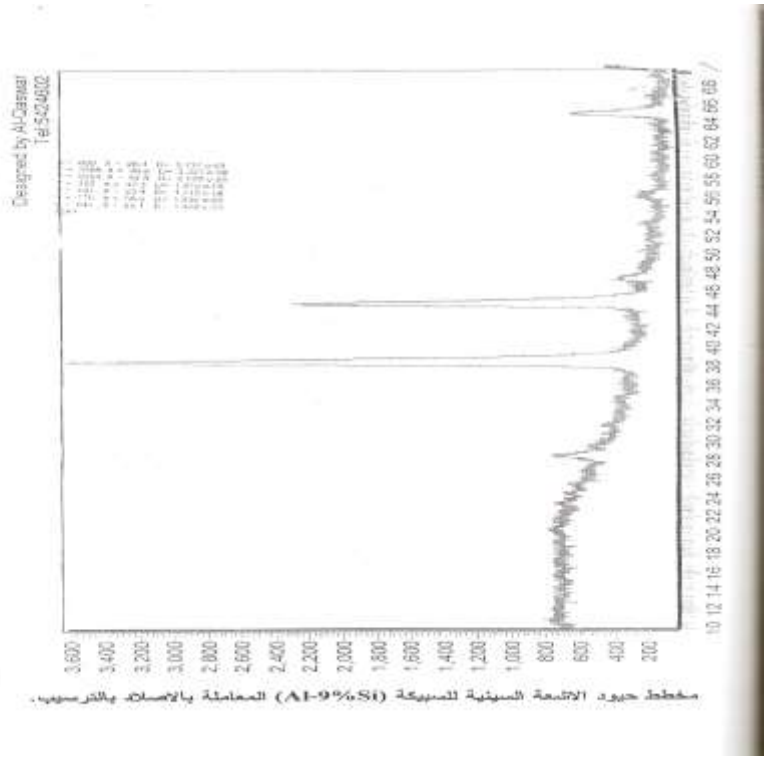
شكل (9) يمثل السطح المتضرر من البلى للسبيكة (Al-9%Si) بعد اجراء عملية الاصلاد بالترسيب بدرجة حرارة معاملة محلولية ٥٤٠م° ، الحمل المسلط ٢٠ نيوتن وسرعة الانزلاق 2.199 م/ثا وصلادة القرص 45HRC

جدول (١)نتائج فحص حيود الاشعة السينية للسبيكة (Al-9%Si) المعاملة بالاصلاد بالترسيب.

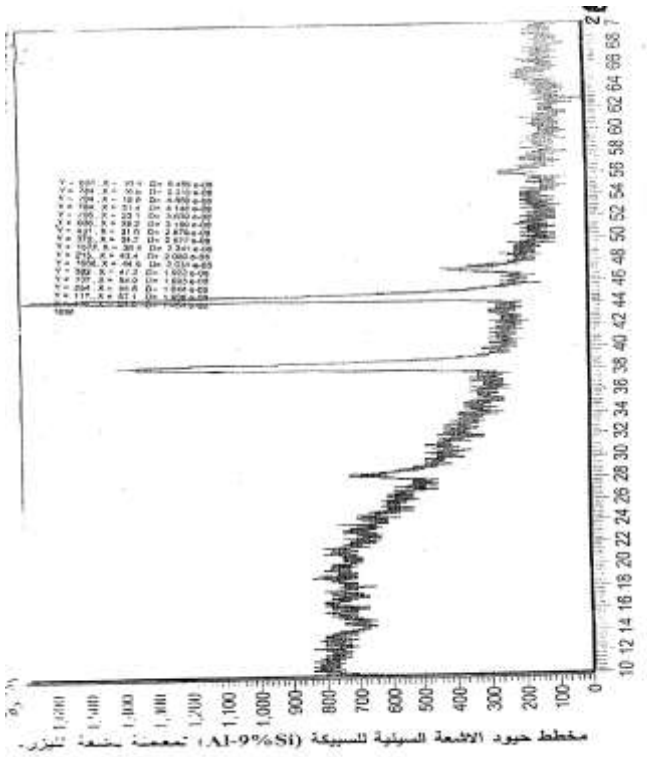
$2\theta^o$	dm(A)°	ds(A)°	Phase	I/I_o
28.4	1.13	1.13	Si	100
24	3.70	3.70	Mg_2Si	40
35.8	2.50	2.50	Mg_2Al	100
36.6	2.45	2.46	Mg_2Al	70
38.6	2.32	2.33	Al	100
44.8	2.02	2.02	Al	47
47	1.92	1.92	Mg_2Si	15
47.3	1.91	1.90	Si	60
56.3	1.630	1.64	Si	35
57.5	1.59	1.59	Mg_2Si	20
65.1	1.42	1.43	Al	22

جدول (٢) نتائج فحص حيود الاشعة السينية للسبيكة (Al-9%Si) بعد المعاملة بالليزر.

$2\theta^o$	dm(A)°	ds(A)°	Phase	I/I_o
28.2	3.15	3.14	Si	100
31.0	2.87	2.80	Mg_2Si	40
35.8	2.50	2.50	Mg_2Al	100
38.6	2.32	2.33	Al	100
44.5	2.03	2.02	Al	47
45.9	1.92	1.92	Mg_2Si	15
47.2	1.92	1.90	Si	60
57.1	1.60	1.63	Si	35
60.6	1.48	1.46	Mg_2Si	20
64.9	1.43	1.43	Al	22



مخطط حيود الاشعة السينية للسبيكة (Al-9%Si) المعاملة بالاصلاد بالترسيب.



مخطط حيود الاشعة السينية للسبيكة (Al-9%Si) المعاملة بأشعة الليزر.

المصادر

[1]. Polmear, I. J. *"Light Alloys*", Arnold,London, 1995.
[2]. Polmear, I.J. "Light Metals", Edward Arnold Ltd. London, (1989).
[3]. Pederse, "Material Science and Engineering", A_{241} (1998).
[4]. Kazuhiro Nogita, Stuart D. McDonald and Arne K. Dahle," Eutectic Modification of Al-Si Alloys with Rare Earth Metals", The Japan Institute of Metals, The University of Queensland, Australia Materials Transactions, Vol. 45, No. 2 (2004).
[5].Wu Shu-Sen,Tu Xiao,"Modification Mechanism of hypereutectic Al-Si alloy with p-Na addition"University of science and Technology,china,Dec(2003).
[6]. Steen, W.A. "Laser Material Processing", 2nd Edition, London (1998).
[7]. Soares and M.P. Amor, O.D "Applied Laser Tooling", Martinus, Nijoff Boston, (1987).
[8]. Steen, W.M. "Metals and Materials", Vol.1 (1985).
[9]باسل محمد علي العبيدي، "المعاملات الحرارية السطحية بالليزر للصلب الكربوني المنخفض "Steel", Msc. Thesis, University of Technology (1991). اطروحة ماجستير"
[10]. "The Engineering Staff of Coherent Laser", Megrow- Hill, New York, (1980).
[11]احمد عباس خلف، "تاثير حجم وعدد كريات الكرافيت في حديد الزهر الكروي على خواص البلى الجاف "، رسالة ماجستير- الجامعة التكنولوجية، (١٩٩١).
[12]. Williams, J. A. "Wear and wear particles - Some fundamentals", Tribology International , (2005).
[13]. John Wiley and Sons, "Friction and Wear of Materials",New York, (1995).
[14]. Botton,W. "Engineering Materials Technology", Butter Worth's 3rd Edition, London, (1998).
[15]. Ernst, F. "Precipitation Hardening of Al-Si-Mg Alloys", Materials Laboratory ,Handots, (2004).