

## تأثير المعاملات الحرارية على الخواص الميكانيكية ومقاومة البلى لمادة مركبة ذات أساس المنيوم

د.منى خضير عباس\* ايمان خليل أبراهيم\* و ايمان صبيح نعيم\*

تاريخ التسلم: 2011/4/7

تاريخ القبول: 2011/7/21

### الخلاصة

تم تحضير مادة مركبة معدنية ذات اساس من سبيكة (Al – 0.978% Mg – 1.03% Si) مقواة بدقائق كاربيد السيلكون (SiC) وبنسبة (10%) وذو حجم حبيبي (53 – 106)  $\mu\text{m}$  بطريقة السباكة بالتحريك باستخدام تقنية الدوامة. واجريت عملية المعاملة الحرارية (المعاملة المحلولية والتعتيق) عند درجة حرارة 175C° ولفترات تعتيق مختلفة. وقد اجريت عدة فحوصات واختبارات منها فحص البنية المجهرية وفحص الصلادة الفيكرزية والفحص بحيود الاشعة السينية. وكذلك اجري اختبار البلى الانزلاقي الجاف نوع (Pin – on- Disc) باستعمال احمال متغيرة وازمان تعرض مختلفة مع ثبوت العوامل الاخرى.

وقد لوحظ ان اضافة دقائق (SiC) الى السبيكة الاساس ادى الى تحسين الصلادة ومقاومة البلى قبل وبعد اجراء المعاملة الحرارية (الاصلاذ بالترسيب). وكذلك لوحظ ان اضافة دقائق (SiC) الى أرضية السبيكة ادى الى تعجيل عملية التعتيق وترسيب دقائق الطور الثاني (Mg<sub>2</sub>Si) وتقليل زمن التعتيق اللازم للوصول الى قيمة الصلادة العظمى من 8hr الى 5hr بالنسبة للسبيكة الاساس والمادة المركبة على التوالي.

## Effect of Heat Treatments on The Mechanical Properties And Wear Resistance of Al- Alloy Matrix Composite

### Abstract

Metal matrix composite (MMCs) of the base alloy (Al-0.978%Mg-1.03%Si) reinforced with SiC particles (10 wt %) with particle size (53-106)  $\mu\text{m}$  was prepared by stir casting using vortex technique. Solution heat treatment and aging are carried out at a constant temperature of 175C° for different aging times. Many inspections and tests such as microstructure, Vickers hardness and XRD analysis. Wear test type ( Pin – on – Disc) with various applied loads and different exposure times at constant parameters was carried out under dry sliding conditions.

It was found that the addition of SiC particles to base alloy improved the hardness and wear resistance before and after heat treatment (precipitation hardening).

In addition, using SiC particles with alloy matrix resulted in a faster aging response i.e the time of peak hardness decreased from 8hr to 5hr for base alloy and composite respectively. These results indicate that the addition of SiC particles to Al –alloy matrix accelerates the aging kinetic.

**Keywords:** composites , Al-alloys ,heat treatment, wear

الألمنيوم (6061) مقواة بدقائق SiC ومصنع بطريقة الدائمة. حيث أظهرت النتائج حصول ترابط جيد بين الدقائق والارضية اضافة الى التوزيع المتجانس للدقائق داخل الارضية.

وقامت الباحثة Nada عام 2003 [8] بتحضير مادة مركبة ذات أساس من سبيكة (Al - Cu - Mg)

ومقواة بدقائق SiC ذو حجم حبيبي  $4\mu m$  ) وبنسبة 5% و 10%. وأجريت المعاملة الحرارية الاصلاد بالترسيب والتشكيل على الساخن قبل التعتيق. ومن أهم نتائج هذه الدراسة هو زيادة مقاومة الشد والصلادة مع نقصان مقاومة الصدمة بعد اجراء المعاملة الحرارية وهذا يعزى الى حصول التصليد للمادة المركبة المعدنية باليتي التشبثت والترسيب.

وقام الباحثان (Tekmen & Cocen) في عام 2006 [9] بدراسة امكانية تحسين قابلية الترطيب لمواد التقوية السيراميكية في منصهر الألمنيوم . واستنتجا ان تبللية المواد السيراميكية ذات الاواصر التساهمية مع منصهر الألمنيوم ضعيفة جداً. كذلك توصل الباحثان الى ان طلاء مواد التقوية بالمعادن وخاصة النيكل يحسن قابلية الترطيب حيث يتفاعل النيكل بشدة مع الألمنيوم ليكون مركبات مستقرة. كذلك فان تسخين الدقائق قبل اضافتها الى المنصهر يساعد على تشبثت دقائق التقوية في المنصهر كما ان اضافة المغنيسوم واستعمال الامواج فوق الصوتية يحسن من قابلية التبلل [10].

ويهدف البحث الحالي الى دراسة تأثير المعاملة الحرارية وهي الاصلاد بالترسيب على الخواص الميكانيكية (الصلادة) ومقاومة البلى الانزلاقي الجاف لمادة مركبة ذات أساس من سبيكة (Al - Mg - Si) ومقواة بدقائق كاربيد السليكون.

**الجزء العملي:**  
**Experimental Work**

استخدمت عملية السباكة باستخدام تقنية السباكة بالتحريك ( تقنية الدائمة)

## المقدمة

تتميز المواد المركبة ذات اساس من الألمنيوم بمزايا عديدة مثل خفة الوزن والاستقرارية الحرارية والبعدية، المتانة العالية،

انخفاض الكلفة، نسبة (المقاومة الى الوزن) العالية ومقاومة كلال جيدة بالاضافة الى مقاومة بلى جيدة وكذلك قلة تأثيرها بالمذيبات. هذه الميزات ادت الى تفضيل المواد المركبة المعدنية ذات اساس من الألمنيوم في التطبيقات البحرية، التطبيقات الدقيقة للمنظومات الفضائية، الطائرات المدنية والحربية والصناعات الالكترونية، وسائل النقل ومحركات الاحتراق الداخلي وعدد القياس ذات الحساسية وفي معدات الرياضة (Sport goods) وغيرها [1,2,3,4].

وقد ظهرت تقنيات عديدة لتصنيع المواد المركبة المعدنية ولا تزال طرق التصنيع في تطور مستمر ومن هذه الطرق تكنولوجيا المساحيق، التغلغل او الاشباع بطور البخار، الربط الانتشاري للدقائق، السباكة بالعصر والسباكة بالتحريك وغيرها. وتحثل الطريقة الأخيرة مكانة واسعة لأنها قليلة التكاليف نسبياً وتوفر اختيارات واسعة للمواد وشروط العمل.

ومن اهم الصعوبات التي تواجه تصنيع هذه المواد هي غياب التبللية (Wettability) بين الارضية وطور التقوية. لذا تعد تحديد طريقة التصنيع من اهم متطلبات نجاح استخدام المواد المركبة المعدنية المقواة بالدقائق السيراميكية. ولحل هذه المشكلة اتجه الباحثون الى اتباع طرق

وتقنيات مختلفة منها السباكة بالتحريك باستخدام تقنية الدائمة (Vortex Technique) لتحسين عملية الترطيب وتوزيع الدقائق السيراميكية داخل الارضية [5,6].

وفي عام 1998 قام الباحث R.M. Wang وآخرون [7] بدراسة البنية المجهرية وتركيب السطح لمادة متراكبة ذات اساس من سبيكة

النتيجة من السبيكة الأساس والمادة المركبة حيث قطعت الى عينات اسطوانية بقطر (10mm) وارتفاع (20mm) لغرض اجراء اختبار البلى.

## 2. المعاملة الحرارية Heat Treatment

بعد ان تم تحضير السبيكة الاساس والمادة المركبة تم اجراء المعاملة الحرارية والمتضمنة المعاملة المحلولية في درجة (530C°) ولمدة (1hr) يعقبها النقية بالماء ثم التعتيق في درجة (175C°) ولفترات زمنية مختلفة (لأزمان تعتيق مختلفة).

## 3. الفحص المجهرى وقياس الصلادة Microstructure and Hardness Test

تم تحضير نماذج من السبيكة الاساس والمواد المركبة المحضرة لاجراء الفحص المجهرى وقياس الصلادة وذلك باجراء عملية التنعيم الرطب بالماء وباستخدام اوراق تنعيم بدرجات نعومة مختلفة ( 1000, 320, 220 ) ثم الغسل بالماء والتجفيف يعقبها عملية الصقل باستعمال قماش صقل خاص مع محلول الالومينا وبحجم حبيبي (0.5µm). ثم أجريت عملية غسل النموذج بالماء والكحول ثم التجفيف في الهواء. وبعد ذلك اجريت عملية الاظهار للنماذج باستخدام محلول يتكون من (1% Hf) ثم اجريت عملية الفحص المجهرى باستخدام مجهر ضوئي مزود بكاميرا وحاسوب. وقد تم قياس الصلادة باستخدام طريقة فيكرز (VHN) وبأستعمال حمل مقداره 400gm لمدة (30sec). تم اخذ معدل القراءات من (3-5) قراءة لكل نموذج.

## 4. اختبار البلى الأترياقى الجاف Dry

### Sliding Wear Test

تم استعمال جهاز البلى من نوع المسمار على القرص (Pin-on-Disc) طبقا الى مواصفات (ASTM) 83-2625 والمبين رسمه التخطيطي في شكل رقم (1).

لغرض زيادة قابلية الترطيب لدقائق كاربيد السيليكون في منصهر سبيكة الالمنيوم (Al-Mg-Si) وذو حجم حبيبي (53-106)µm. 1. تحضير السبيكة الأساس والمادة المركبة:

استخدمت صفائح من السبيكة (Al-Mg-Si)(6061) كمادة اساس لتحضير السبيكة الأساس والمادة المركبة والجدول رقم (1) يوضح التركيب الكيماوي للسبيكة بعد الصب. وتم صهر هذه السبيكة وبوزن 300gm في بودقة كرافيتية في فرن صهر كهربائي عند درجة حرارة (750C°) وبعد التاكد من انصهار السبيكة تم صب المنصهر في قالب فولاذي مسخن الى درجة حرارة (300C°) يحتوي على ثقب بقطر (15mm) وارتفاع (100mm).

أما بالنسبة لتحضير المادة المركبة المعدنية فقد أتبعنا نفس الخطوات السابقة لتحضير السبيكة الأساس (Al-Mg-Si) ولكن بعد التاكد من انصهار السبيكة تم اضافة دقائق (SiC) ونسبة (10%) بعد ان تم تغليفها برقائق الالمنيوم النقي. اذ تم تسخين هذه الدقائق مسبقا الى درجة حرارة (300C°) وتم خلط هذه الدقائق مع المنصهر باستخدام خلاط كهربائي وثم اضافة قطع من المغنيسيوم النقي بنسبة (1%) في مركز الدوامة (Vortex) التي تتكون عند اجراء الخلط والتحرك وبسرعة 600 rpm ولمدة 5 دقيقة. وبعد اكمال عملية الخلط تم اعادة البودقة الى الفرن ورفع درجة الحرارة الى (800C°) ولمدة 10 دقيقة ومن ثم اخراج البودقة من الفرن واجراء عملية الخلط مرة أخرى قبل الصب لضمان الحصول على توزيع متجانس لدقائق (SiC) في السبيكة الاساس. ومن ثم تم صب الخليط في نفس القالب الفولاذي المذكور أعلاه والذي سخن الى درجة حرارة (300C°) قبل عملية الصب فيه. وبعد ذلك تم اجراء عملية التشغيل الميكانيكي بالخراطة للمصبوبات

## نتائج والمناقشة & Results Discussion

### 1. الفحص المجهرى

الشكل رقم ( 2 ) يوضح البنية المجهرية للسبيكة الأساس بعد اجراء عملية الصب. ويلاحظ من الشكل ان البنية المجهرية للسبيكة الأساس ( Al-Mg-Si ) تتكون من بلورات شجيرية ناعمة من طور الألمنيوم وهو عبارة عن محلول جامد (  $\alpha$  ) ويحتوي على دقائق من  $Mg_2Si$  متوزعة بانتظام في البنية نتيجة صب السبيكة في قالب معدني من الفولاذ. حيث يكون فيه معدل التبريد سريعاً مما أدى الى عدم حصول الأنزال لعناصر السبك وهي السليكون والمغنيسيوم على الحدود البلورية للطور (  $\alpha$  ) . ومن الشكل (3) يلاحظ ان دقائق كاربيد السليكون (SiC) تتوزع توزيعاً منتظماً تقريباً في أرضية السبيكة الأساس وهذا دليل على حصول ترطيب ( Wetting ) جيد بين دقائق كاربيد السليكون ومنصهر سبيكة الألمنيوم. وقد أكدت هذه النتائج الفحص بحيود الأشعة السينية لكل من السبيكة الأساس والمادة المركبة كما مبين في الشكلين (4) و(5) على التعاقب.

### 2. تأثير المعاملة الحرارية على الصلادة

الشكل رقم (6) يوضح العلاقة بين زمن التعتيق والصلادة للسبيكة الأساس والمادة المركبة بعد اجراء المعاملة الحرارية المحلولة في درجة حرارة  $530^{\circ}C$  والتعتيق في  $175^{\circ}C$ . ويلاحظ ان الصلادة تزداد باستمرار مع زمن التعتيق الى ان تصل الى القيمة العظمى ثم تنخفض بعد ذلك . وهذا يعزى الى ترسيب دقائق الطور الثاني ( $Mg_2Si$ ) من المحلول الجامد فوق الأشباع وتوزيعها في البنية ومن ثم حصول تفاعلات مع الانخلاعات مما تؤدي الى مقاومة حركة الانخلاعات المتحركة وبسمرتها وبالتالي زيادة الأجهاد اللازم لتحريكها ومن زيادة مقاومة السبيكة. حيث وصلت الصلادة الى القيمة العظمى بعد مرور ( 5, 8 hr ) لكل من

ويتكون الجهاز من قرص فولاذي دوار وعينة أسطوانية للحصول على تماس بين سطح العينة والقرص الفولاذي الدوار تحت تأثير الحمل العمودي المسلط. ويتكون الجهاز أيضاً من محرك ذي سرعة دورانية ثابتة مقدارها (940 rpm) فضلاً عن احتواء الجهاز على ذراع ذي مقطع مستطيل تثبت فيه العينة بواسطة ماسك.

اجري اختبار البلى بأستعمال قرص من الفولاذ الكربوني صلادته (48 HRC) وسرعة دوران القرص (510 rpm). وقد اجري الفحص بعد تثبيت مسافة الانزلاق (7 cm) وسرعة الانزلاق ( 2.7m/sec ) وقد استخدمت اربعة احمال مختلفة (20,15,10,5) نيوتن لفترة تعرض 20 min .

وتم قياس مقدار الفقدان في الوزن بأستخدام ميزان كهربائي حساس نوع (Denver) وبدقة (0.0001 gm) وتم حساب معدل البلى طبقاً للمعادلة التالية:

$$Wear\ rate\ (W.R) = \frac{\Delta W}{2\pi tRN}$$

حيث ان  $t$  = زمن الانزلاق = 20 min  
 $N$  = عدد دورات القرص = 510 rpm  
 $R$  = نصف القطر من مركز العينة (نصف قطر الدوران للقرص) = 7cm  
 $\Delta W$  = الفرق في الوزن قبل وبعد الاختبار gm  
 $W.R$  = معدل البلى gm/cm

### 5 - فحص الأطوار بحيود الأشعة السينية X-Ray Diffraction Phases Analysis

تم استخدام جهاز الفحص بحيود الأشعة السينية نوع ( Model XRD-6000 ) الموجود في مركز النانوتكنولوجي والمواد المتقدمة في الجامعة التكنولوجية لغرض تحديد الأطوار في السبيكة الأساس والمادة المركبة المحضرة من سبيكة الألمنيوم ( Al-Mg-Si ) والمقواة بدقائق كاربيد السليكون قبل وبعد اجراء المعاملة الحرارية.

(Metastable) على دقائق (SiC) [12]. وقد استنتجنا أيضا ان كلا التخليق والنمو لمناطق الترسيب (GP-zone) يتأثر بالدقائق السيراميكية وتزداد كثافة الانخلاعات وهذا يؤدي الى تعتيق اسرع.

وقام الباحثان ( S. B. Hassan, V. S. ) بدراسة تأثير التقادم الحراري او التعتيق المعجل على خواص المواد المركبة من اساس (Al-Si-Fe) ومدعمة بدقائق كاربيد السليكون ( 10% SiC 20% ) والتي صنعت بواسطة الصب المضاعف (Double Stir Casting) حيث اجريت المعاملة المحلولية في  $500^{\circ}\text{C}$  لمدة 3 hr ثم تعتيق في درجات ( 100,  $200, 300^{\circ}\text{C}$  ) مع تقادم الوقت ( 60-660 min ), وقد توصلنا الى ان زيادة الصلادة ومقاومة الشد اثناء التقادم الحراري تعود الى تكوين ترسبات منتظمة ومتطابقة في شبكة المعدن وان التقادم الحراري او (التعتيق المعجل) لها يعود الى وجود دقائق (SiC) المضافة مقارنة بالسبيكة الاساس.

### 3. نتائج البلى الأثر لاقى الجاف

#### 3-1 تأثير الحمل المسلط على معدل البلى

يلاحظ من الشكل (11) ازدياد معدل البلى مع زيادة الحمل المسلط وذلك لأن عند زيادة الحمل يزداد التشوه اللدن الحاصل عند قمم النتوات والمنطقة القريبة من السطح وبالتالي تزداد كثافة الانخلاعات بزيادة التشوه مما يؤدي الى تكوين شقوق دقيقة في سطح المعدن ومن ثم التقاء هذه الشقوق مع بعضها ومع خطوط البلى وباتجاه موازي للسطح الفاصل مما يسبب ازالة (Delamination) اجزاء او فصل ( قلع ) قطع من المعدن عند الطبقات السطحية الدقيقة من المعدن وهذه القطع تزال بسهولة باتجاه الانزلاق وتكوين حطام البلى ( Debris ) مما يؤدي الى زيادة في معدل البلى [14]. ويلاحظ ان سلوك البلى للسبيكة الاساس مشابه الى المادة المركبة من حيث انتقال البلى من البلى الطري (Mild Wear) عند

السبيكة الاساس (Al-Mg-Si) والمادة المركبة المقواة بدقائق (10% SiC) على التوالي. اما السبب في انخفاض قيم الصلادة بعد ذلك فيعود الى فقدان انفعالات التطابق (Coherency Strain) بين الارضية والدقائق المترسبة وكذلك بسبب تكون الاطوار الوسطية الناتجة عن العمليات الانتشارية لعناصر السبك (Mg, Si) بعد المعاملة الحرارية المحلولية والتعتيق.

ويلاحظ ان المادة المركبة المعدنية تصل الى الصلادة العظمى عند فترة تعتيق اقل مما في حالة السبيكة الاساس وهذا يعود الى ان اضافة دقائق التقوية (SiC) الى ارضية الالمنيوم يعجل من عملية التعتيق. علاوة على ذلك زيادة كثافة الانخلاعات في الارضية وبجوار دقائق التقوية نتيجة عدم التلائم (Misfit) بين الارضية ودقائق التقوية والتي تؤدي الى اعاقه حركة الانخلاعات وحدوث التقوية (التصليد) للسبيكة.

والشكلين ( 7 و 8 ) يبينان البنية المجهرية لكل من للسبيكة الأساس والمادة المركبة بعد اجراء المعاملة الحرارية المحلولية والتعتيق عند درجة حرارة  $175^{\circ}\text{C}$  ولفترة تعتيق ( 5, 8 hr ) لكل من السبيكة الاساس (Al-Mg-Si) والمادة المركبة المقواة بدقائق ( 10% SiC ) على التوالي. ويلاحظ من الصور المجهرية وجود دقائق الطور الثاني وترسب الأطوار الأخرى على شكل نقاط ناعمة منتشرة في ارضية الطور الأساس (  $\alpha$  ). وقد أكدت هذه النتائج الفحص بحيود الأشعة السينية كما مبين في الشكلين ( 9 ) و ( 10 ) لكل من السبيكة الأساس والمادة المركبة على التعاقب بعد اجراء المعاملة الحرارية.

ومن المعروف ان كثافة الانخلاعات العالية في الارضية المعدنية يشجع التفاعلات الانتشارية بين الانخلاعات وعناصر السبك خلال عملية التعتيق وهذه النتائج مشابهة الى نتائج الباحثان ( S. M. Seyed , R. Ehsani ) [11] حيث اشاروا الى ان تأثير دقائق التقوية على سلوك التعتيق تعزى الى التخليق غير المتجانس للاطوار شبه المستقرة

ان آلية التصليد المشترك (الاصلاذ بالترسيب والتشيتت للدقائق) سوف تؤدي الى تحسين الخواص الميكانيكية (الصلادة) ومقاومة البلى وهذه النتائج مشابهة الى نتائج الباحث (Adnan) [16]. حيث توصل الى ان المعاملة الحرارية الاصلاذ بالترسيب والتشيتت ادت الى زيادة مقاومة البلى والصلادة للمواد المركبة المعدنية ذات اساس من سبيكة (Al-Cu-Mg) ومقواة بدقائق ( $Al_2O_3$ ) وبنسب مختلفة (2, 4, 6%) والتي حضرت بطريقة السباكة بالتحريك.

### 3-3 تأثير زمن الانزلاق على معدل البلى:

الشكل رقم (12) يوضح العلاقة بين زمن الانزلاق ومعدل البلى للسبيكة الاساس والمادة المركبة المعدنية عند حمل مسلط (15N) وسرعة انزلاق (2.7m/sec) وصلادة القرص (48HRC). ولوحظ أن معدل البلى يزداد باستمرار مع زيادة زمن الانزلاق ولكن الزيادة في معدل البلى للمادة المركبة اقل من السبيكة الاساس. وهذا يعزى الى دور دقائق كاربيد السليكون (SiC) ذات الصلادة العالية في تقليل التماس للسطح الفاصل بين العينة والقرص الدوار اي تقليل ((Metal-Metal Contact)). كذلك تقصير منطقة البلى الشديد وتوسيع منطقة البلى الطري أي جعل سلوك البلى عند مرحلة البلى الطري هو السائد. وقد أكد هذه النتائج الباحثان (Wilson & Alpas) [17] حيث توصلوا الى ان وجود دقائق كاربيد السليكون (20%SiC) في ارضية السبيكة سوف تقلل من منطقة البلى الشديد (Severe Wear Region) وتمنع حدوث البلى الكبير (Wear Damage) عند هذه المرحلة. وقد لوحظ ايضا أن دقائق (SiC) تتحمل الحمل المسلط عند السرعة الواطئة والاحمال العالية مؤدية الى تحسين كبير في مقاومة البلى مقارنة بالسبيكة الاساس (Al alloy A356) أي زيادة او توسيع (Expanded) مرحلة البلى الطري (Mild Wear Region). ويلاحظ في الشكل رقم (12) أن معدل البلى

الاحمال القليلة (5N) الى البلى الانتقالي ثم الى البلى المعدني الشديد (Severe Wear) عند زيادة الحمل بصورة كبيرة الى (20N). ولكن معدل البلى للمواد المركبة كان اقل مما هو عليه في حالة السبيكة الاساس وعند جميع الاحمال المسلطة (5-20 N) وعند سرعة انزلاق وزمن انزلاق ثابتين. وهذا يعزى الى دور دقائق كاربيد السليكون (SiC) في زيادة صلادة وتقوية الارضية للسبيكة وحدثت تفاعلات ما بين هذه الدقائق الصلدة (SiC) والانخلاعات المتحركة المتكونة نتيجة التشكيل اللدن للطبقات السطحية. علاوة على ان دقائق (SiC) تكون ذات صلادة اعلى من الارضية مما تعمل على مقاومة الحمل المسلط عليها وكذلك تقلل من نقاط التلامس بين السطحين (Metal - Metal Contact) عند نقاط التوتات في الطبقات السطحية وبذلك تكون القوة المطلوبة لقص هذه التوتات اقل منه في حالة السبيكة الاساس وبالتالي ينخفض معدل البلى للمادة المركبة [15].

### 3-2 تأثير المعاملة الحرارية على معدل البلى

يوضح الشكل (11) سلوك البلى للسبيكة الاساس والمادة المركبة قبل وبعد المعاملة الحرارية وهي (الاصلاذ بالترسيب) والمتضمنة المعاملة المحلولية والتعتيق في درجة (175C°) وعند القيم العظمى للصلادة وعند ازمان تعتيق (8 hr, 5 hr) ولكل من السبيكة الاساس والمادة المركبة على التعاقب. وقد لوحظ ان المعاملة الحرارية ادت الى تحسين مقاومة البلى للسبيكة الاساس والمادة المركبة وبنسب (46%) و(27.5%) على التوالي. وهذا يعود الى ترسيب دقائق الطور الثاني ( $Mg_2Si$ ) والاطوار الوسطية الاخرى وهي اطوار صلدة ومتطابقة (Coherent) مع ارضية السبيكة علاوة على وجود دقائق (SiC) المنتشرة في ارضية السبيكة.

أما في حالة المادة المركبة ذات أساس من سبيكة الألمنيوم ( Al-Mg-Si ) والمقواة بدقائق كاربيد السيلكون (10%SiC) (الشكل 14-a,b,c & d) فيلاحظ ان خطوط البلى تكون دقيقة ورفيعة وغير عميقة وتضرر اسطح البلى يكون اقل مما في حالة السبيكة الأساس وذلك بسبب وجود دقائق كاربيد السيلكون الصلدة في أرضية السبيكة والتي تؤدي الى تقليل الاحتكاك والبلى بين العينة والقرص الفولاذي الدوار وبالتالي يؤدي الى تكوين حطام بلى ناعم وبكميات قليلة لذا يكون معدل البلى للمادة المركبة اقل مما في حالة السبيكة الأساس وعند جميع الأحمال المسلطة.

#### الاستنتاجات

- 1- يزداد معدل البلى مع زيادة الحمل المسلط لكل من السبيكة الأساس (Al- Mg-Si) والمادة المركبة المعدنية عند ثبوت العوامل الأخرى (سرعة الانزلاق وزمن الانزلاق).
- 2- ادت المعاملة الحرارية (المعاملة المحلولة والتعتيق) الى تحسين الخواص الميكانيكية (الصلادة) ومقاومة البلى الانزلاقي الجاف لكل من السبيكة الأساس والمادة المركبة المعدنية.
- 3- ادت عملية التعتيق عند درجة حرارة ثابتة ( $175^{\circ}\text{C}$ ) الى تعجيل عملية الترسيب حيث كان زمن التعتيق للوصول الى الصلادة العظمى هو (8hr) و(5hr) لكل من السبيكة الأساس والمادة المركبة المعدنية على التعاقب.
- 4- سلوك البلى للسبيكة الأساس يشابه سلوك المادة المركبة قبل وبعد اجراء المعاملة الحرارية من حيث ظهور ثلاث مناطق للبلى (البلى الطري والبلى الانتقالي والبلى الشديد).

يزداد بشكل مفاجئ وكبير بعد مرور 20min بالنسبة للسبيكة الأساس وعند حمل 15 N وذلك بسبب حدوث تشكيل لدن وتصليد انفعالي في الطبقات السطحية مما يؤدي الى حدوث تشققات طولية وعرضية بالإضافة الى حدوث حفر (Grooves) واخاديد عميقة وخطوط بلى (Deep Track) مما ينتج عنه فقدان كبير في المعدن وبالتالي زيادة معدل البلى. اما بالنسبة للمادة المركبة المعدنية فإن الزيادة في معدل البلى مع زمن الانزلاق تكون تدريجية وبمقدار اقل بكثير من السبيكة الأساس. وهذه النتائج تتوافق مع نتائج باحثين آخرين [18].

#### 3-4 دراسة أسطح البلى Study of Worn Surfaces

يوضح الشكلين (13) و(14) الصور الفونوغرافية لأسطح البلى للسبيكة الأساس والمادة المركبة على التعاقب ( قبل اجراء المعاملة الحرارية) بعد اجراء اختبار البلى الانزلاقي الجاف عند أحمال مسلطة مختلفة (5- 20) N وسرعة الانزلاق تساوي 2.7m/sec بعد مرور زمن انزلاق يساوي 20min. ونتيجة لأرتفاع درجة الحرارة السطحية للعينة بسبب زيادة زمن الانزلاق سوف تتكون طبقة أوكسيدية على السطح مما يؤدي الى تكوين حطام بلى أوكسيدي . ويلاحظ من الشكل وجود خطوط البلى اذ تكون خطوط ناعمة ومتقاربة وغير عميقة وكذلك ظهور دقائق صغيرة وبيضاء من حطام البلى لأوكسيدي ( Debris ) منتشرة على سطح العينة عند الأحمال المسلطة القليلة (5, 10) N كما موضح في الشكل ( 13-a & b).

ويمكن ملاحظة آثار البلى عند أسطح العينات وقد تكون خطوط عريضة وعميقة مع تكوين شقوق كبيرة وصغيرة ونقر وحفر ( Grooves ) عند سطح البلى للسبيكة الأساس (Al- Mg-Si) عند الأحمال المسلطة العالية (15, 20) N كما موضح في الشكل ( 13-c & d).

- [7] R.M. Wang, M.K. Surappa, C.Z. Liquid and C.H. Tao, "Microstructure and Interface Structure Studies of SiC-Reinforced Al 6061 Metal Matrix Composites", Material Engineering , A254, 1998, pp 219-226.
- [8] Nada T.S., "The Effect of Adding Silicon Carbide Particles on Fracture Toughness of Al- Cu Alloy", MSc Thesis, 2003, Dept. of Production Engineering and Metallurgy, University of Technology, Baghdad.
- [9] Tekman and Cocen, "The Effect of Ceramic Coating on the Wettability of Al-SiC Composites", Journal of Science Technology, 2006.
- [10] Shamkhy A., "Preparation and Characterization of Cast Aluminum Matrix-SiC Particulate Composite", PhD Thesis, 2000, Dept of Production Engineering and Metallurgy, University of Technology, Baghdad.
- [11] R. Ehsani and S.M. Seyed Reihani , "Aging Behavior and Tensile Properties of Squeeze Cast Al 6061/ SiC Metal Matrix Composites", Scientia Iran icq, Vol.11, No.4, 2004, pp392-397.
- [12] Gupta M. And Surappa M.K., "Effect of Weight Percentage of SiC Particles on the Aging Behavior of Al 6061/SiC Metal Matrix Composites", Journal of Materials Science Letter, Vol.14, 1995, p283.
- 5 أدت المعاملة الحرارية المحلولية والتعتيق الى تحسين مقاومة البلى الانزلاقي وبنسب (46%) و(27.5%) لكل من السبيكة الاساس والمادة المركبة المعدنية على التعاقب عند حمل مسلط N20وزمن انزلاق 20min وسرعة انزلاق (2.7m/sec).
- 6 يزداد معدل البلى مع زيادة زمن الانزلاق عند حمل مسلط ثابت وسرعة انزلاق ثابتة ولكل من السبيكة الاساس والمادة المركبة المعدنية.

#### References

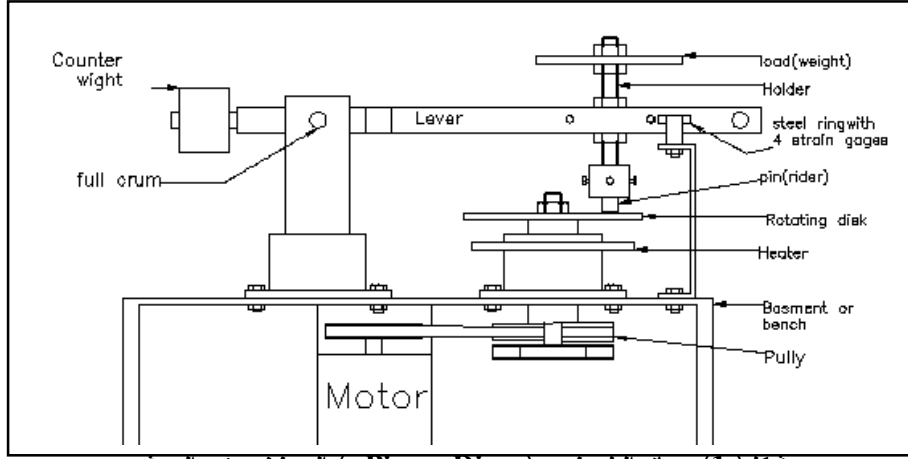
- [1] S.T. Peters, Handbook of Composites", 2<sup>nd</sup> edition, Published by shipman- Hall, 1998.
- [2] Nihilish Chawla and Krishank Chawla, "Metal Matrix Composites". Springer Science-Business Media, Inc., 2006.
- [3] A. Doaud, "Microstructure and Tensile Properties of 2014 Al Alloy", Material Science and Eng., A391, 2005, pp114-120.
- [4] Geoff Eckold, "Design and Manufacture of Composite Structures", JAICO Publishing House, Bombay-Delhi, 1995
- [5] Daniel Gay, Soung V. Hoa and Stephen W. Tsai, "Composite Materials Design and Application", by CRC Press LLC, 2003.
- [6] Karl U. Kainer, "Metal Matrix Composites", Copyright 2006, Wiley VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.



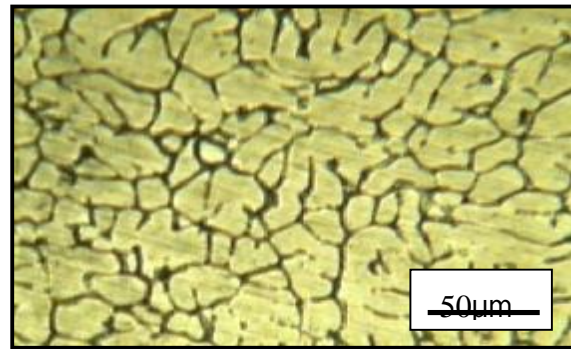
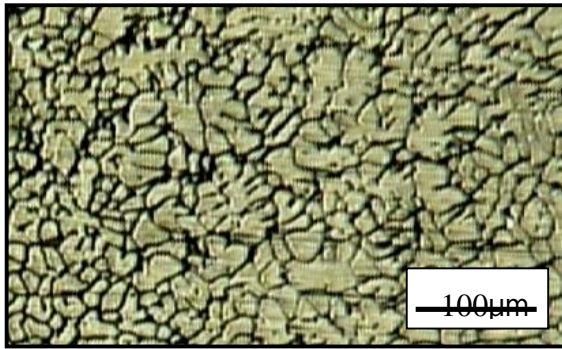
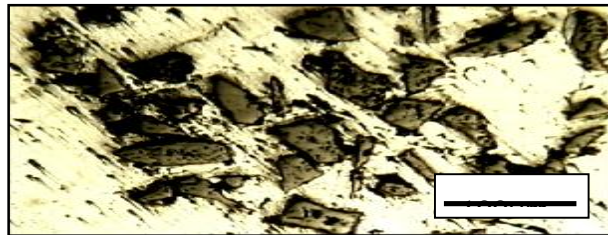
- Al-Cu-Mg Alloy", MSc Thesis, 2001, Dept. of Production Engineering and Metallurgy, University of Technology, Baghdad.
- [17] S. Wilson and A.T. Alpas, "Wear Mechanism Maps for Metal Matrix Composite", *Wear*, Vol.212, 1997, pp41-49.
- [18] Muna K. Abbass, "Study of Dry Sliding Wear Behavior of Al-12%Si Alloy Produced by Squeeze Casting", *The Iraqi Journal of Mechanical and Materials Engineering*, Babylon University, College of Engineering, Vol.9, No.3, 2009, pp369-382.
- [13] V.S. Aigbodion and S.B. Hassan, "Effect of Thermal Aging Characteristics of Al-Si-Fe/SiC Particulate Composite Synthesized by Double Stir Casting", *The Journal of Engineering Research*, TJER, Published by Sultan Qaboos University, Sultanate of Oman, Vol.7, No.1, 2010 ,pp54-61.
- [14] Mikell P. Groover, "Fundamentals of Modern Manufacturing Processes and Systems" John Wiley and Sons, Inc., 1999.
- [15] Chen Zhenhua, Teng Jie ,Chen Gana, Fu Ding Fa and Yan Hongge, "Effect of the Silicon Content and Thermo-Mechanical Treatment on the Dry Sliding Wear Behavior of Spray-Deposited Al-Si/SiCp Composites", *Wear*, Vol.262 ,2007, pp362-368.
- [16] Adnan A. Jerjery , " Effect of Alumina Addition on the Dispersion Hardening Ability of

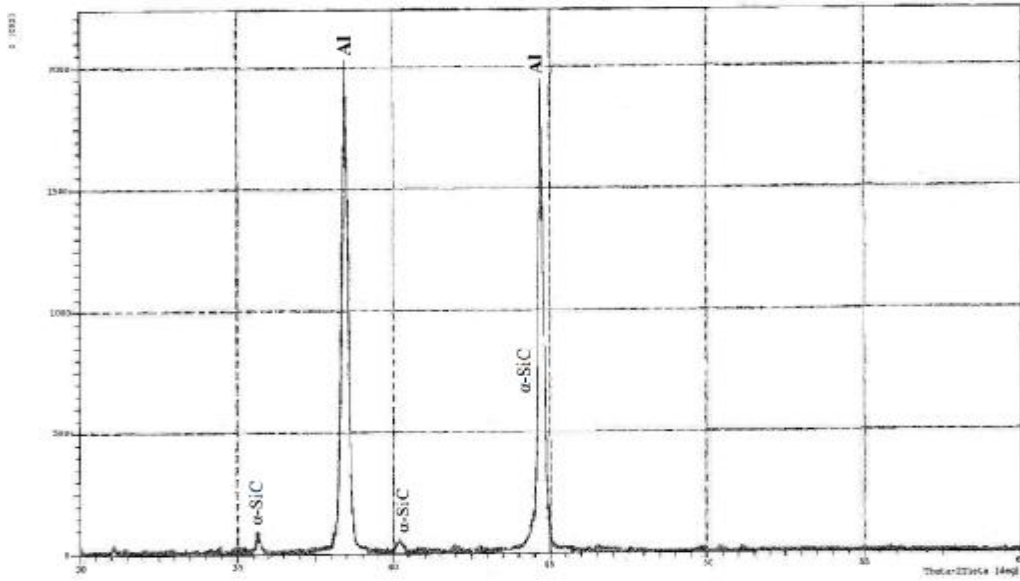
جدول (1) التحليل الكيماوي لسبيكة الألمنيوم (Al-Mg-Si)

Element	Si	Mg	Fe	Mn	Cu	Cr	Zn	Al
wt%	1.03	0.978	0.6	0.44	0.082	0.09	0.03	Rem

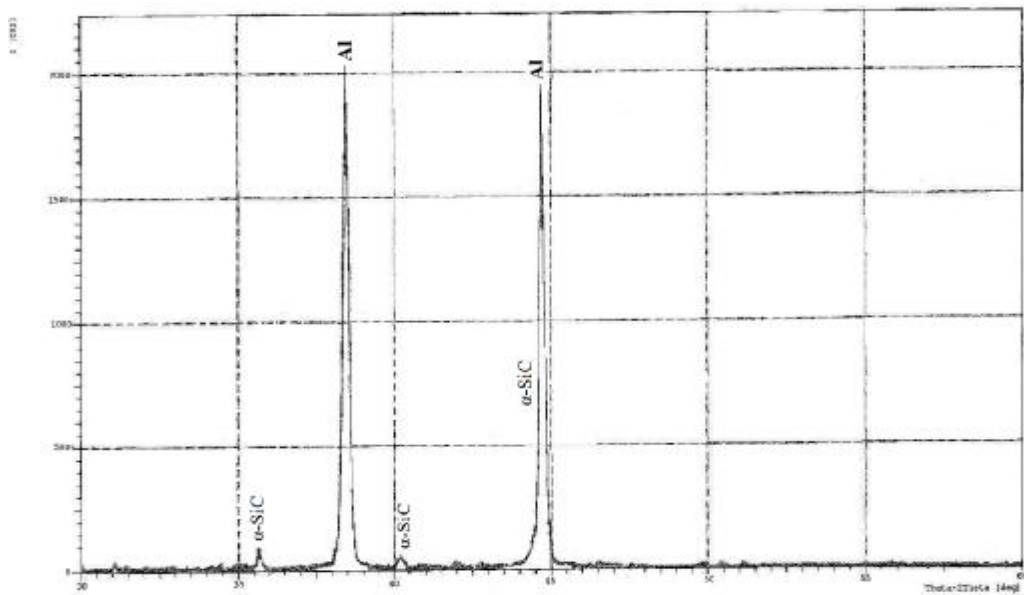


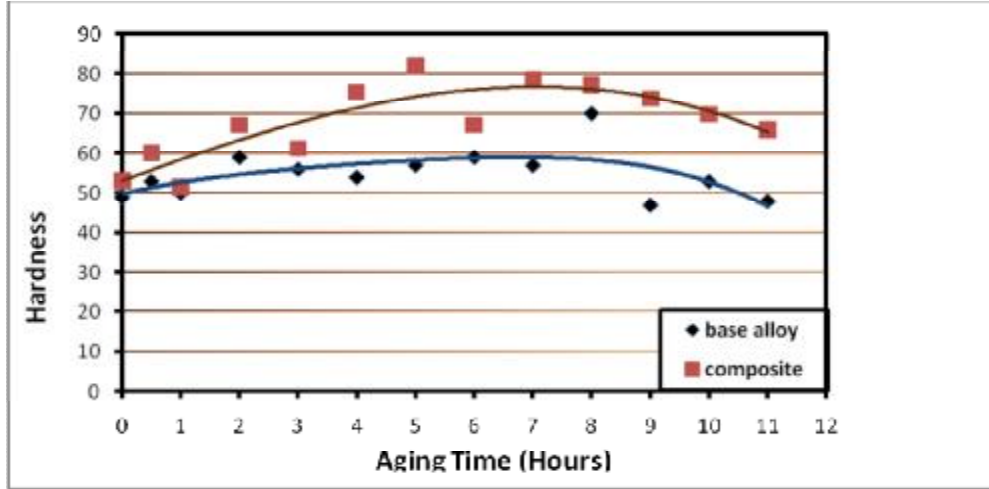
شكل (1) جهاز البلى نوع ( Pin on Disc ) المستخدم في البحث

شكل (2) البنية المجهرية للسبيكة الأساس (Al-Mg-Si) ( بعد عملية الصب )  
وقبل إجراء المعاملة الحراريةشكل (3) البنية المجهرية للمادة المركبة ذات أساس من سبيكة الألمنيوم (Al-Mg-Si)  
والمقواة بدقائق كربيد السيلكون ( بعد عملية الصب ) وقبل إجراء المعاملة الحرارية

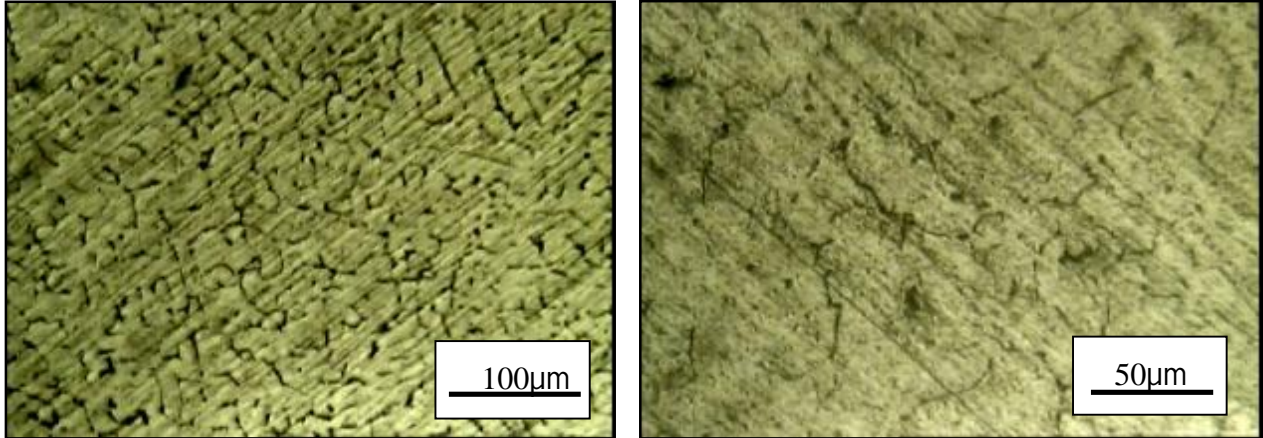


شكل (4) نتائج الفحص بحيود الأشعة السينية للسبيكة الأساس ( Al-Mg-Si )

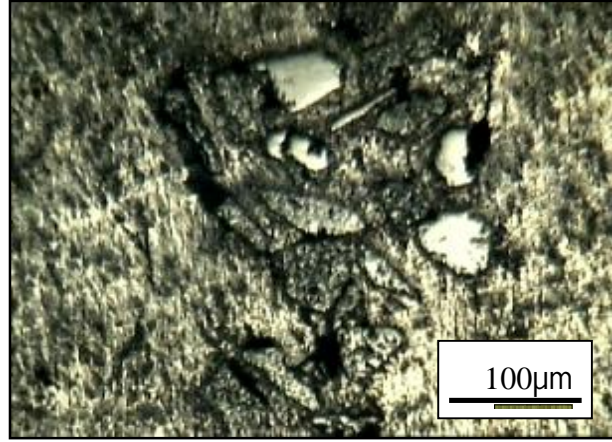
شكل (5) نتائج الفحص بحيود الأشعة السينية للمادة المركبة ذات أساس ( Al-Mg-Si )  
ومقواة بدقائق كربيد السيلكون



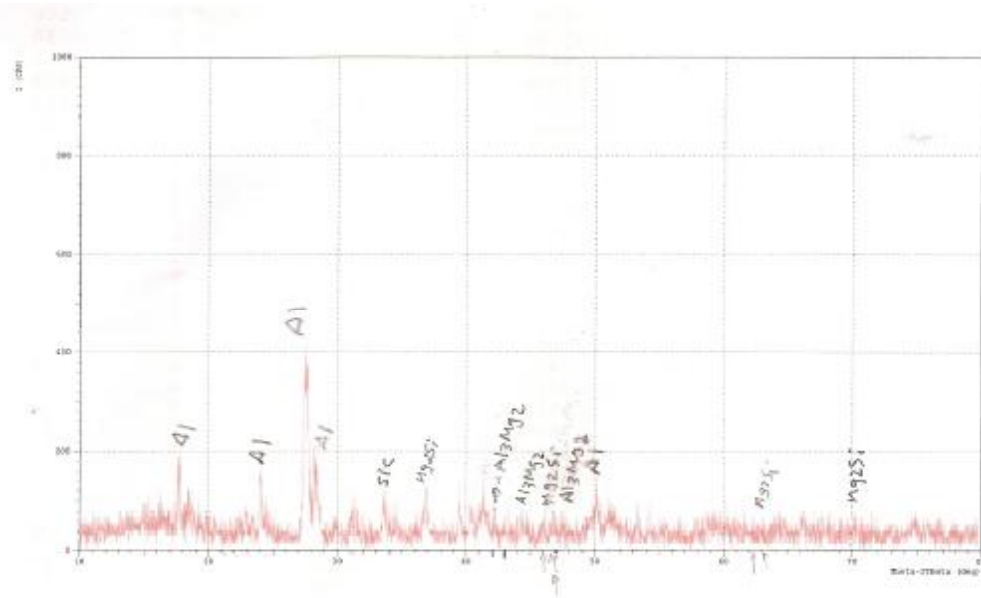
شكل ( 6 ) تأثير زمن التعتيق على الصلادة الفيكرزية لكل من السبيكة الأساس ( Al-Mg-Si ) والمادة المركبة بعد إجراء المعاملة الحرارية المحلولية والتعتيق عند درجة حرارة  $175^{\circ}\text{C}$



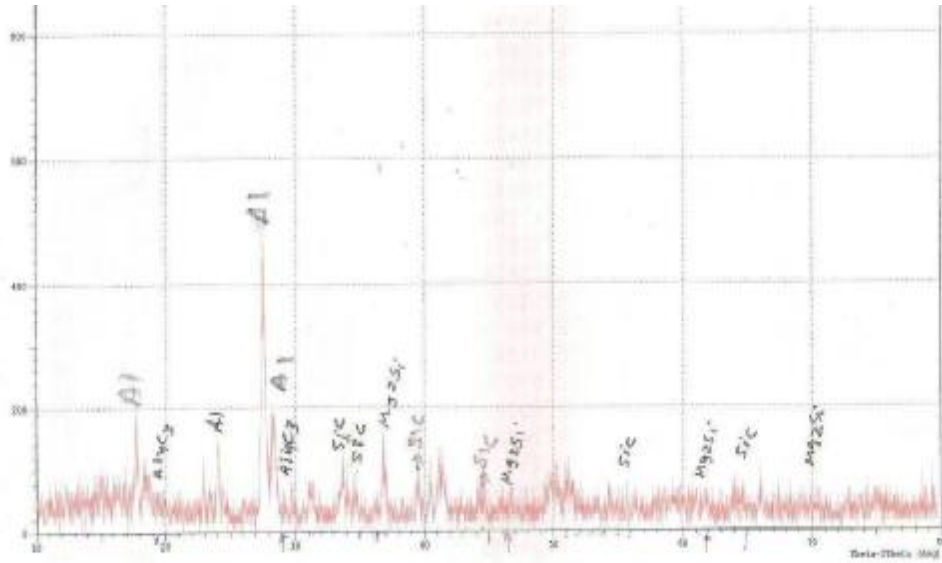
شكل (7) البنية المجهرية للسبيكة الأساس ( Al-Mg-Si ) بعد إجراء المعاملة الحرارية المحلولية والتعتيق عند درجة حرارة  $175^{\circ}\text{C}$  ولفترة تعتيق (8 hr)



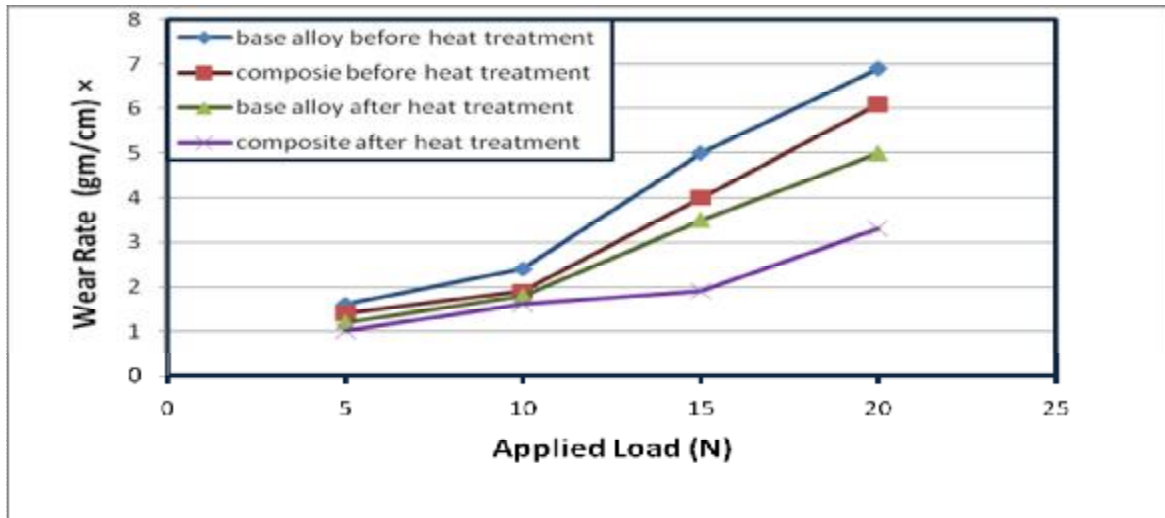
شكل (8) البنية المجهرية للمادة المركبة ذات أساس ( Al-Mg-Si ) المقواة بدقائق (10% SiC) بعد إجراء المعاملة الحرارية المحلولية والتعتيق عند درجة حرارة 175C° ولفترة تعتيق (5hr)



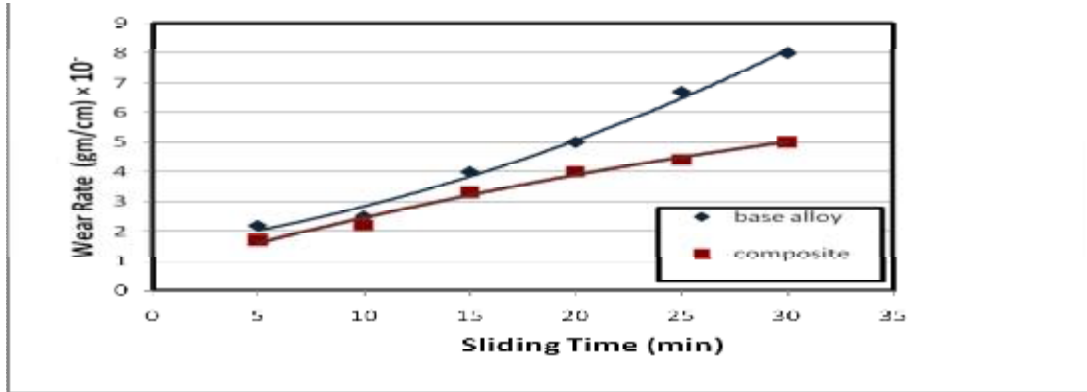
شكل (9) نتائج الفحص بحيود الأشعة السينية للسبيكة الأساس ( Al-Mg-Si ) بعد إجراء المعاملة الحرارية



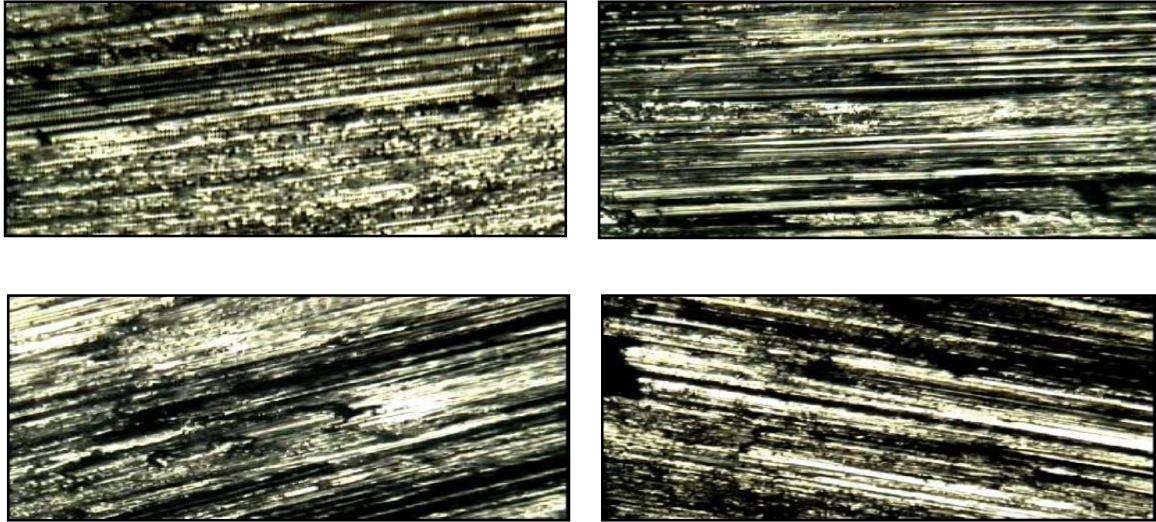
شكل (10) نتائج الفحص بحيود الأشعة السينية للمادة المركبة ذات أساس ( Al-Mg-Si ) ومقاومة بدقائق كاربيد السيلكون بعد إجراء المعاملة الحرارية



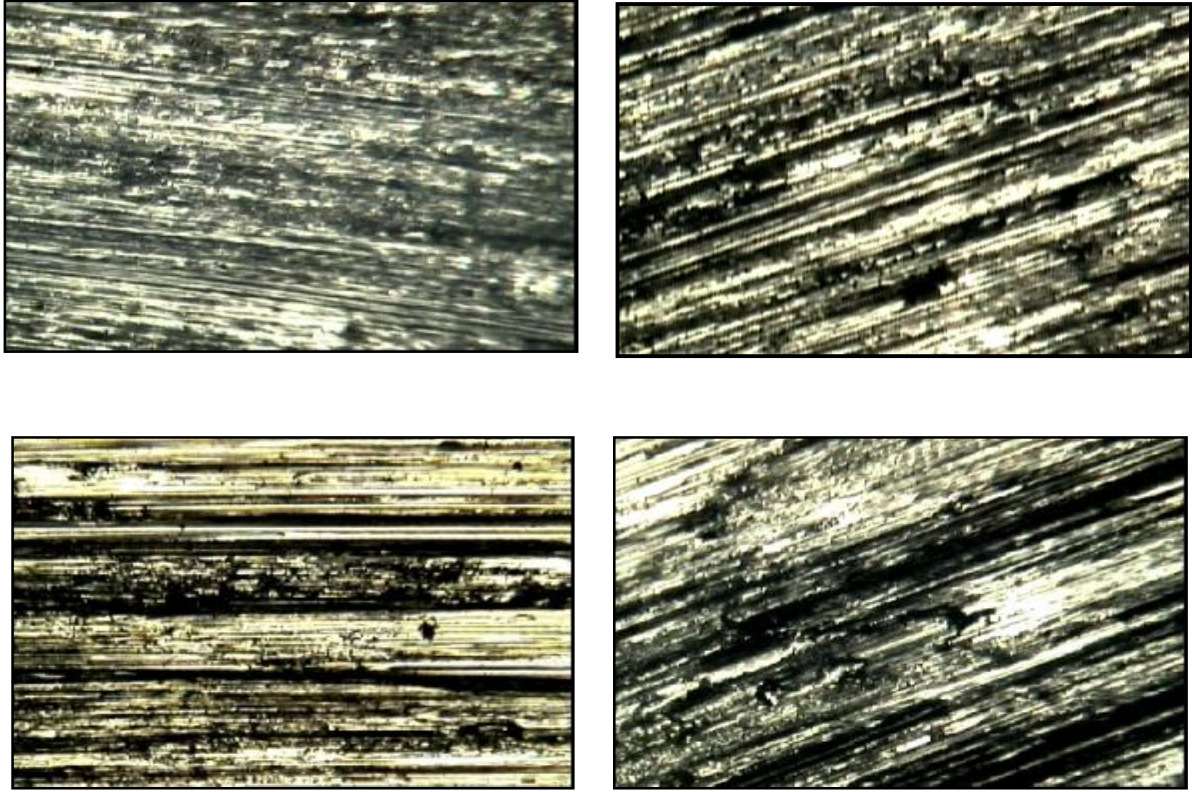
شكل (11) تأثير الحمل المسلط على معدل البلى للسبيكة الأساس والمادة المركبة قبل وبعد إجراء المعاملة الحرارية المحلولة والتعتيق في درجة حرارة  $175^{\circ}\text{C}$  وعند زمن الأنزلاق = 20min وسرعة الأنزلاق = 2.7m/sec وصلادة القرص الفولاذي = 48HRC



شكل (12) تأثير زمن الأتزالق على معدل البلى للسبيكة الأساس والمادة المركبة قبل إجراء المعاملة الحرارية وعند حمل مسلط = 15N وسرعة الأتزالق = 2.7m/sec وصلادة القرص الفولاذي = 48HRC



شكل (13) يوضح صور سطح البلى للسبيكة الأساس (Al-Mg-Si) بعد أختبار البلى عند أحمال مسلطة مختلفة عند زمن الأتزالق = 20min وسرعة الأتزالق = 2.7m/sec ، قوة التكبير 63X



شكل (14) يوضح صور سطح البلى للمادة المركبة من السبيكة الأساس (Al-Mg-Si) المقواة بدقائق (SiC) بعد اختبار البلى عند أحمال مسلطة مختلفة عند زمن الأنزلاق = 20min وسرعة الأنزلاق = 2.7m/sec قوة التكبير 63X