

Studying the Dry Sliding Wear for Composite Material of Base (Al-4%Cu) Reinforcement by Silicon Carbide Particles

Dr. Ahmad Ali Akbar Akbar

Production & Materials Engineering Department, University of Technology / Baghdad

Dr. Hijran Zinalabiden

Production & Materials Engineering Department, University of Technology / Baghdad

Waleed T. Rashid

Production & Materials Engineering Department, University of Technology / Baghdad

Email: waleed_engqq@yahoo.com

Received on: 14/10/2012 & Accepted on: 9/1/2014

Abstract

This work is concerned with a study of dry sliding wear of Aluminum base alloy of (Al-4%Cu) reinforcement by silicon carbide particles with different percentage (3, 6, 9, 12 wt % SiC). Composite materials prepared by stir casting method using vortex technique. The base alloy and composite materials samples were tested to investigate wear behavior, using Pin-on-Disc technique, by examining some variables of wear such as applied load, sliding speed, and sliding time. The results showed that wear rate increases with applied load and sliding time, while increasing the sliding speed and the percentage of SiC decreases the wear rate, as well as the alloy containing (12wt% SiC) showed better wear resistance compared with other alloys.

Keywords: Composite materials; Wear ; SiC; Al

دراسة البلى الانزلاقي الجاف لمادة متراكبة ذات أساس (Al-4.1%Cu-0.62Mg) مقواة بدقائق كاربيد السليكون

الخلاصة:

يتناول هذا البحث دراسة معدل البلى الانزلاقي الجاف لسبيكة ذات أساس من الألمنيوم (Al-4%Cu) مقواة بدقائق من كاربيد السليكون بنسب (3, 6, 9, 12 wt% SiC) والتي تم تصنيعها بواسطة السباكة بالمزج بتقنية الدوامة. حيث يتم دراسة معدل البلى لسبيكة الأساس و المادة المتراكبة باستخدام جهاز البلى بطريقة مسمار على القرص (Pin-on-disk), عن طريق دراسة بعض متغيرات البلى مثل الحمل المسلط وسرعة الانزلاق و زمن الانزلاق، وقد أظهرت النتائج ان معدل البلى يزداد مع الحمل المسلط وزمن الانزلاق، اما بزيادة سرعة الانزلاق ونسبة اضافة الدقائق يقل معدل البلى و كذلك اظهرت سبيكة الحاوية على (12wt%) افضل مقاومة بلى مقارنة مع السبائك الاخرى.

المقدمة:

يعد البلى من المشاكل المهمة والكبيرة التي تعاني منها الكثير من الماكائن والآلات ذات الحركة الترددية أو الانزلاقية لأنها تؤثر بشكل سلبي ومباشر على دقة عمل واداء تلك الماكائن والآلات وخصوصا تحت ظروف الانزلاق الجاف لأنها تكون أكثر حدة . ويمكن ان يحدث البلى بعدة آليات حيث من الممكن ان يحصل نتيجة اتصال انزلاقي أو ترددي بين السطوح أو نتيجة جريان مائع أو سوائل تحتوي على دقائق صلدة . وهناك عدة تعاريف للبلى منها أنه فقدان تدريجي ومستمر من مادة احد السطحين أو كليهما عندما يكون بينهما حركة نسبية [1,2]. ويحدث ضرر البلى (damage wear) بشكل شقوق صغيرة (micro-cracks) أو تشويه لدن موقعي (localized plastic deformation) ويمكن أن يرافق عمليات البلى انتقال المعدن من احد السطحين المحتكين إلى الآخر ولهذا السبب استخدم العديد من التقنيات لتحسين مقاومة البلى لهذه الأجزاء ومن هذه التقنيات طرق الطلاء أو الطرق الحرارية كالتصليد بالحث، كذلك استخدمت المعاملات الحرارية الكيميائية [Thermal chemical] التي تؤدي إلى حدوث تغيير بالتركيب الكيميائي للسطح مثل الكربنة والنتردة والسيدة لتحسين خاصية الصلادة السطحية للمواد [3]. و لتحسين أداء وكفاءة الأجزاء والحصول على مقاومة وجساءة عالية مع اقل وزن ممكن لهذه الأجزاء، استخدمت مواد غير تقليدية بدلا من المواد التقليدية [4]. والتي هي المواد المترابية و تعرف المواد المترابية على أنها المادة المتكونة من مادتين أو أكثر والتي تعطي مواصفات أفضل لا تتوفر في أي من المادتين على انفراد [5].

الجزء العملي:

تحضير السبيكة الأساس و المادة المترابية:

لتحضير السبيكة الأساس، تم صهر الألمنيوم النقي والموضح تركيبه الكيميائي في جدول رقم (1) حيث تم وضع الألمنيوم في بوتقة سيراميكية وإدخال البوتقة إلى داخل فرن كهربائي بعد رفع درجة الحرارة إلى (750 °C) وبعد انصهار الألمنيوم بشكل كامل تمت إضافة النحاس على شكل رايش بنسبة (4 wt%)، حيث تم حساب النسب الوزنية باستخدام ميزان حساس من نوع (Denver) ذي دقة (0.0001) ومن ثم تغليف النحاس بورق الألمنيوم وإضافته إلى منصهر الألمنيوم واستخدام الخلاط الكهربائي بسرعة (350r.p.m) للحصول على تجانس السبيكة وبعد التأكد من انصهار الألمنيوم مع النحاس تم إضافة المغنيسيوم بنسبة (1%) بعد تغليفه بورق من الألمنيوم وغمره داخل البوتقة بسرعة لتفادي تفاعله مع الأوكسجين واحتراقه ثم صب المنصهر في قالب معدني يحتوي على تجويف اسطواني بارتفاع 100mm و قطر 15 mm، مسخن مسبقا إلى درجة حرارة 250°C للتخلص من التبريد المفاجئ والرطوبة داخل القالب وتم تحليل السبيكة كيميائياً ، ولإنتاج المادة المترابية اعتمدت طريقة السباكة بالمزج (Stir casting) باتباع تقنية الدوامة حيث تم صهر السبيكة الأساس والتي تمت إضافة المغنيسيوم إليها مسبقا في الفرن الكهربائي وبعد الانصهار بشكل تام تمت إضافة مادة التقوية وهي دقائق كربيد السليكون (SiC_p) من نوع (α) وذات حجم حبيبي (53+75 μm-) وبنسب إضافة (3,6,9,12wt%)، حيث تم تغليف دقائق كربيد السليكون بورق من الألمنيوم حيث سخنت إلى درجة حرارة (300°C) ثم تم إضافتها إلى المنصهر على شكل دفعات بعد عمل دوامة داخل المنصهر بواسطة الخلاط الكهربائي (Electrical Stirrer) بسرعة دورانية (600 r.p.m) وذلك للحصول على تشتيت جيد لمادة التقوية داخل المنصهر، وبعد ذلك تم صب المنصهر في القالب المعدني والمسخن مسبقا للحصول على مواد مترابية مقواة بواسطة دقائق من كربيد السليكون (SiC_p)، وتكرر العملية ولجميع الإضافات.

قياس الصلادة:

تم تحضير العينات من سبيكة الأساس والمادة المترابية لغرض اجراء فحص الصلادة. إذ اجريت عملية التنعيم الرطب بالماء باستعمال ورق تنعيم بدرجات مختلفة ثم اجريت عملية الصقل (Polishing) باستخدام قماش صقل خاص ومعجون الماس بحجم حبيبي (1 μm) مع وجود سائل تزييت لتقليل الاحتكاك ثم اجريت عملية الإظهار باستخدام محلول الإظهار

الصلادة باستخدام حمل مقداره (0.4 Kg) لمدة (15 sec) على سطح العينة. بعدها تمت عملية قياس قطر الأثر الناتج بأخذ (3) قراءات للعينة الواحدة في أماكن مختلفة على سطح العينة وحساب معدل الصلادة

اختبار البلى الانزلاقي:

لغرض اجراء اختبار البلى تم استخدام جهاز (Pin on Disc) حيث استخدام قرص من الصلب الكربوني ذي صلادة 35 HRC . وتم حساب معدل البلى من المعادلة الاتية [6]:

$$\text{Wear Rate} = \Delta W / SD \text{ (g /cm)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta W = W_1 - W_2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$SD = 2\pi rnt \quad \dots\dots\dots (3)$$

حيث إن:

SD: مسافة الانزلاق (cm).

ΔW : الفرق بوزن العينة قبل وبعد الاختبار (g).

r: المسافة من مركز العينة الى مركز القرص (cm).

n: السرعة الدورانية للقرص وهي (510 rpm).

t: زمن الاختبار (min).

اما سرعة الانزلاق يتم حسابها من العلاقة التالية:

$$V = 2\pi r n \times 1000 \times 60 \quad \dots\dots\dots (4)$$

حيث إن :-

V:- سرعة الانزلاق (m/sec).

النتائج والمناقشة:

البنية المجهرية الدقيقة (Microstructure test):

الشكل (1) يوضح البنية المجهرية للسبيكة الأساس والمادة المتراكبة ،حيث نلاحظ ان السبيكة الأساس عبارة عن تركيب شجري ناعم (Dendrite) بسبب التجمد السريع للسبيكة اما بالنسبة للمادة المتراكبة ،إن التركيب الشجري يبدأ بالتغير وتحسن البنية بسبب عمل الدقائق كمراكز تنويه ، ويلاحظ إن دقائق كربيد السليكون تتوزع بشكل شبه منتظم ومتجانس على مساحة البنية المجهرية مع ملاحظة تجمع عدة دقائق مختلفة الشكل والحجم مع بعضها داخل المادة المتراكبة ونلاحظ أيضا أن هنالك مناطق فاتحة اللون والتي تمثل الأرضية التي هي محلول جامد من الألمنيوم/ نحاس ومناطق غامقة اللون والتي تمثل الحدود الحبيبية حيث يترسب عليها طور (Al₂Cu) والطور (Al₂CuMg) واللذان اثبت فحص X-Ray وجودهما في البنية.

فحص الصلادة (Results of hardness test):

الشكل (2) يمثل العلاقة بين الصلادة والنسبة الوزنية المضافة من كربيد السليكون ،إن العلاقة بينهما علاقة طردية،إن صلادة السبيكة الأساس تكون ناتجة من المحلول الجامد الناتج من ذوبان النحاس في الألمنيوم وهي اقل صلادة من المواد المتراكبة و نلاحظ ازدياد الصلادة مع زيادة نسبة كربيد السليكون وتكون أعلى صلادة عند نسبة إضافة (12wt%SiC) ،ويعود سبب زيادة الصلادة مع زيادة نسبة كربيد السليكون الى أن هذه المادة لها صلادة عالية فوجودها في السبيكة يزيد صلادتها كذلك تعمل الدقائق الكربيدية على إعاقة التشويه للندن للسبيكة مما يؤدي إلى زيادة الصلادة [7].

تأثير الحمل على معدل البلى (Effect of load on wear rate):

نلاحظ من الشكل (3) والذي يوضح العلاقة بين معدل البلى والاحمال المسلطة للسبيكة الأساس والمواد المتراكبة ،ان العلاقة تكون طردية حيث يزداد معدل البلى بزيادة الاحمال المسلطة و لكل من السبيكة الأساس والمواد المتراكبة ويكون معدل البلى لسبيكة الأساس اكبر من المواد المتراكبة. ويمكن تقسيم سلوك البلى للسبيكة الأساس والمواد المتراكبة الى ثلاثة مناطق وهي منطقة البلى الطري (Mild

(wear) ويحدث ما بين قيم الأحمال (2.5-5N) ونلاحظ أن زيادة معدل البلى مع الاحمال المسلطة قليل مقارنة مع المناطق الاخرى ويعود ذلك الى تكون غشاء اوكسيدي واق يؤدي إلى انخفاض مساحة التلامس بين العينة والقرص، ويكون التلامس ضعيفاً ويتم عند قمم النتوءات فقط، و التشويه للندن الحاصل عند قمم النتوءات يكون منخفضاً كون التشويه للندن يعتمد بشكل كبير على الاحمال المسلطة وبالتالي يؤدي ذلك إلى معدل بلى قليل، أما حطام البلى (Debris) المتكون فهو عبارة عن جسيمات ناعمة من الاوكسيد ولهذا يسمى هذا النوع من البلى البلى الاوكسيدي ايضاً. اما المنطقة التي تلي منطقة البلى الطري فهي منطقة البلى الانتقالي (Transition Wear) وهي المنطقة التي ينتقل بها البلى من الحالة الخفيفة الى الحالة الشديدة وتكون هذه المنطقة واقعة بين الاحمال (5-10 N)، اما المنطقة التي تلي منطقة البلى الانتقالي هي منطقة البلى الشديد حيث يكون البلى في هذا النوع عاليا مقارنة بالمناطق الاخرى وذلك يعود الى الاحمال في هذه المنطقة والتي تكون عالية والتي تؤدي الى تكسر طبقة الاوكسيد المتكونة فيؤدي ذلك إلى اتصال بمساحة كبيرة بين نتوءات السطحين. فيزداد التشويه للندن عند قمم النتوءات والمنطقة القريبة من السطح مما يسبب زيادة كثافة الانخلاعات (Dislocations) وبالتالي يحصل الاصلاذ الانفعالي ومن ثم تزداد هشاشة المادة تدريجياً بسبب تجمع الانخلاعات مكونة فجوات صغيرة تقترب من بعضها لتكوين شقوق صغيرة ويتوسع هذه الشقوق باتجاه المناطق الضعيفة والتقاءها تتكون شقوق كبيرة وان التقاء هذه الشقوق مع بعضها يسبب ازالة لطبقات رقيقة من المعدن مكونة حطام البلى [8]. حيث تكون جسيمات حطام البلى كبيرة ومعدنية ولهذا يسمى هذا البلى البلى المعدني، وفي هذه الحالة تكون هنالك حاجة الى قوة قص عالية لقص الالتصاق الحاصل عند قمم النتوءات بسبب الارتباط القوي بين السطوح المتلامسة حيث تكون اكبر من قوة ترابط ذرات المعدن.

تأثير نسب دقائق كربيد السليكون المضافة على معدل البلى :

الشكل (4) يوضح العلاقة بين نسب الاضافة و معدل البلى حيث تكون العلاقة عكسية لكل من السبيكة الاساس والمادة المترابكة ونلاحظ ان السبيكة الاساس يكون لها معدل بلى اكبر من المادة المترابكة ونلاحظ اقل معدل بلى في المادة المترابكة (12% wtSiC). أي إن زيادة دقائق كربيد السليكون يقل معدل البلى [9]. ويعود سبب ذلك الى ان زيادة نسبة دقائق كربيد السليكون المضافة تزداد الصلادة وكما هو موضح في اختبار الصلادة، حيث ان الصلادة تتناسب عكسياً مع معدل البلى كونها تقلل من التشويه للندن (Plastic deformation). بالاضافة الى دور هذه الدقائق في تحمل الحمل المسلط (Load bearing elements) [10]. وتكون باتصال مباشر مع القرص إذ تعمل على التقليل من مساحة التماس بين العينة والقرص الصلب (Metal-Metal contact). بالاضافة الى ذلك نلاحظ أن زيادة معدل البلى تكون مع زيادة الحمل المسلط لكل نسب الاضافة.

تأثير زمن الانزلاق على معدل البلى:

الشكل (5) يوضح العلاقة بين زمن الانزلاق ومعدل البلى مع ثبوت سرعة الانزلاق (3.7m\sec)، نلاحظ من الشكل ان معدل البلى يزداد بزيادة زمن الانزلاق لكل من السبيكة الاساس والمواد المترابكة حيث يعود ذلك الى الانزلاق المستمر لفترات طويلة تحت الحمل المسلط. في المراحل الاولى للانزلاق تكون الزيادة في معدل البلى اكبر من المراحل الاخيرة اي عند الفترات الزمنية العالية، ويعود ذلك الى ان زيادة الفترة الزمنية للانزلاق تؤدي الى الزيادة في تسطيح النتوءات المتلامسة في كلا السطحين فيتم الحصول على سطح نسبة النتوءات فيه قليلة، بالاضافة الى الاستمرار بالانزلاق يؤدي الى حصول تصليد انفعالي لسطح العينة وبالتالي انخفاض معدل البلى. ويلاحظ أن السبيكة الأساس أكثر تأثراً بزمن الانزلاق من المواد المترابكة حيث يلاحظ إن معدل البلى ينخفض مع الزيادة بنسبة الدقائق المضافة ويكون اقل معدل بلى عند نسبة كربيد السليكون 12wt% وهذا يعود إلى دور دقائق كربيد السليكون في زيادة صلادة العينة وتقليل التماس بين السطحين المتماسين و تقليل معدل البلى [11]. وقد أكد هذه النتائج الباحثان (Wilson and alpas) [12].

تأثير سرعة الأنزلاق على معدل البلى

تمت دراسة تأثير سرعة الانزلاق (2.7,3.7,4.7m\sec) على معدل البلى للسبيكة الاساس والمادة المترابكة مع ثبوت الحمل المسلط (10 N) و زمن انزلاق (25 min.). حيث نلاحظ من الشكل (7) انخفاض معدل البلى مع زيادة سرعة الانزلاق للسبيكة الاساس والمادة المترابكة [13]. إن معدل البلى العالي عند سرع انزلاق قليلة يمكن ان يعزى الى حصول التحام جزئي بين نتوءات السطوح المنزلة

بسبب ان الحرارة التي تتسرب من سطح العينة عند السرعة المنخفضة عالية وبالتالي تكون القوة المطلوبة لقص نقاط الاتصال بين التوتوات اكبر من قوة ترابط المعدن ، اما انخفاض معدل البلى بزيادة سرعة الانزلاق فقد يعزى الى ان الحرارة المتسربة عند سرعة الانزلاق العالية قليلة ونتيجة لذلك تتكون طبقة الاوكسيد على سطح التلامس والتي تساعد على الانخفاض في معدل البلى [14].

دراسة اسطح البلى بواسطة المجهر الالكتروني الماسح (SEM):

باستخدام المجهر الالكتروني الماسح (SEM)، تمت دراسة تأثير الحمل المسلط على سطح العينات عند اعلى حمل 12.5N واقل حمل 2.5 N مع ثبوت نسبة اضافة دقائق كاربيد السليكون (SiC 6wt%) وسرعة الانزلاق (3.7 m/s) وزمن الانزلاق (25min.) . الشكل (7) A و B ، يوضح البلى الحاصل للسطوح عند الاحمال المختلفة حيث يلاحظ عند الحمل العالي (7 A) ان السطح يعاني من بلى شديد (Sever Wear) يسببه الحمل العالي وتكون مسارات البلى عميقة وواضحة، بالاضافة الى ذلك تنتشر بعض الشقوق على السطح العينة كذلك يوجد نوعان من البلى هما البلى الالتصاقي والبلى الحكي وانفصال بعض الاجزاء من السطح. وسبب ذلك، عند الحمل العالي يزداد التشويه اللدن و أنه بعض الدقائق تنفصل عن سطح الالمنيوم تاركا السطح عرضة الى الاحتكاك مع سطح القرص الصلب مما يؤدي الى انخفاض مقاومة السبيكة للبلى، وأون بعض الدقائق تنحسر بين السطحين مسببة بذلك زيادة تشويه السطح و ازالة المعدن منه، اما عند الحمل القليل (7 B) فنلاحظ ان السطح يعاني من بلى اقل شدة وتكون مسارات البلى ناعمة وغير عميقة و يلاحظ اثار الطبقة الاوكسيدية على سطح العينة حيث يسمى هذا البلى البلى الاوكسيدي (Oxidative Wear) ويعود ذلك الى انخفاض في التشويه اللدن عند الحمل القليل ويكون للطبقة الاوكسيدية دور واضح بانخفاض البلى حيث تعمل على عدم التلامس الكامل بين السطحين المتلامسين وان بقاء الدقائق في بنية السبيكة يزيد من مقاومتها للبلى [15].

الاستنتاجات:

1. أدت إضافة كاربيد السليكون إلى تقليل معدل البلى للمادة المتراكبة وان النقصان في معدل البلى يزداد مع زيادة النسب المضافة من الدقائق وجد اقل معدل بلى عند نسبة اضافة SiC 12wt% .
2. يتناسب معدل البلى طردياً مع الحمل المسلط اي انه يزداد بزيادة الحمل المسلط للسبيكة الاساس و للمادة المتراكبة .
3. يزداد معدل البلى للسبيكة الاساس و للمادة المتراكبة خلال عملية الانزلاق مع زيادة زمن الانزلاق.
4. ينخفض معدل البلى للسبيكة الاساس و للمادة المتراكبة مع زيادة سرعة الانزلاق.
5. ظهور البلى الاوكسيدي عند الاحمال القليلة والبلى المعدني الشديد عند الاحمال العالية بالاضافة الى وجود البلى الالتصاقي والبلى الحكي عند الاحمال العالية.

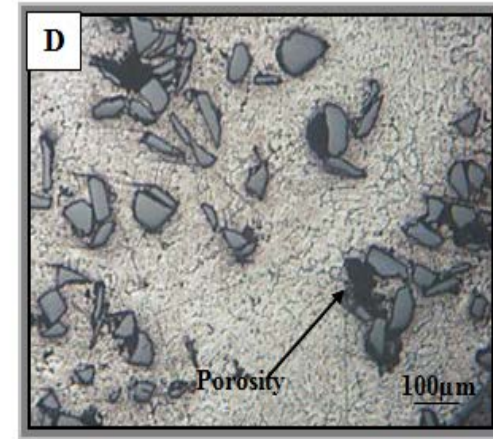
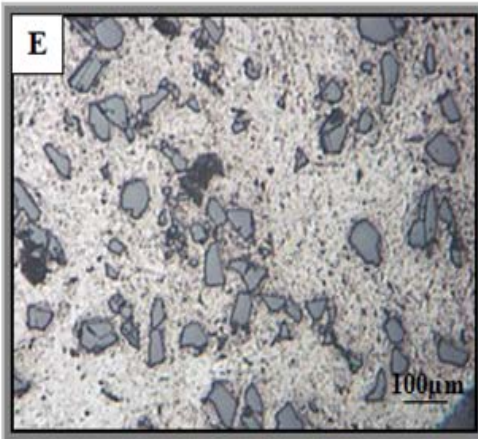
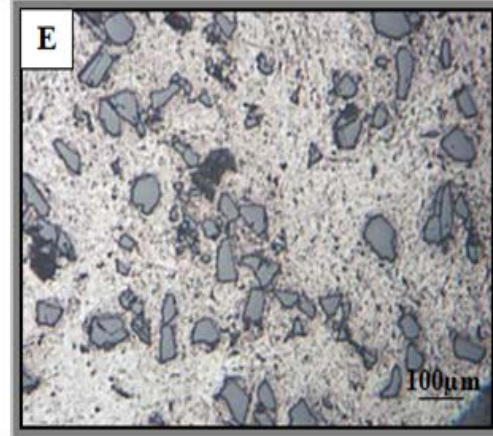
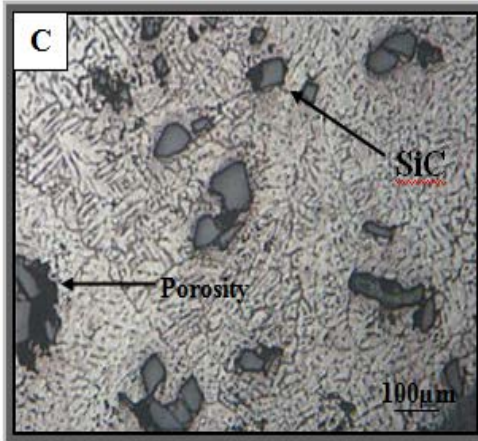
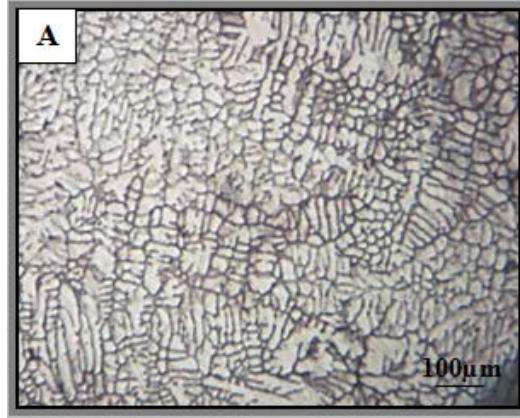
REFERENCES

- [1]Sanna Ala-Klemea, Paivi Kivikyto-Reponen. , Jari Liimatainen, Jussi Hellman and Hannula S. P. , " Abrasive Wear Properties of Metal Matrix Composites Produced by Hot Isostatic Pressing ", Proc. Estonian Acad. Sci. Eng , PP.445-454 , 2006.
- [2]T.W. Clyne , " Metal Matrix Composites : Matrices and Processing ", University of Cambridge , 2001.
- [3] K.N. Strafford etal, (Ed.), "coatings and surface treatment for corrosion and wear resistance "first edition, Ellis Hovwood limited, England(1984).
- [4]M. Kutz, "Mechanical engineering handbook", Johan wiley and sons, Inc, 1998.
- [5]Milwankcc, wiscanino "Cust Metal Matrix Composites Past, present and future", AFS Transactions 1- 133, pp1-25, 2001.
- [6]R.owicy "fraction and wear of materials", john wiely and sons, Inc, New York ,1965.

- [7] محمد سعيد وحيد و حسن حامد عبد "تأثير التدعيم المشترك على مقاومة البلى لمسبوكات الالمنيوم المدعمة ب Al_2O_3 , SiC", مجلة الهندسة والتكنولوجيا, المجلد 27, العدد 13, 2009.
- [8] Y. Sahin, "Wear Behaviour of Aluminium Alloy and its Composites Reinforced by SiC Particles using Statistical Analysis", Materials and Design, Vol. 24, pp. 671-679, 2003.
- [9] A.M.Hassan, A.T.Mayyas, Abdalla Alrashdan Mohammed, T. Hayajneh, "Wear behavior of Al-Cu and Al-Cu/SiC components produced by powder metallurgy", Springer science + Business media, Published online 29 June, pp. 5368-5375, 2008.
- [10] F. Gul, M. Acilar, "Effect of the reinforcement volume fraction on the dry sliding wear behaviour of Al-10Si/SiCp composites produced by vacuum infiltration technique", Composites Science and Technology 64, pp. 1959-1970, 2004.
- [11] منى خضير عباس, ايمان خليل ابراهيم, ايمان صبيح نعيم, "تأثير المعاملات الحرارية على الخواص الميكانيكية ومقاومة البلى لمادة مركبة ذات اساس المنيوم", مجلة الهندسة العدد 29 والتكنولوجيا, المجلد 12, 2011.
- [12] S. Wilson and A.T. Alpas, "Wear Mechanism Maps for Metal Matrix Composite", Wear, Vol. 212, 1997.
- [13] V.C.Srivastava, G.B.Rudrakshi, V.Uhlenwinkel and S.N.Ojha, "Wear characteristics of spray formed Al-alloys and their composites", J Mater Sci, pp. 2288-2299, 2009.
- [14] Molian P.A. and Buchanan V.E., Sudarshan T.S. and Akers A., Wear, Vol. 146, pp. 257, 1991.
- [15] Faiz ahmed and S.H.Jason, "Wear properties of alumina particles reinforced aluminum alloy matrix composite" Journal of applied sciences, pp. 1673-1677, 2011.

الجدول (1) التركيب الكيميائي للألومنيوم والسبيكة الأساس والإضافة

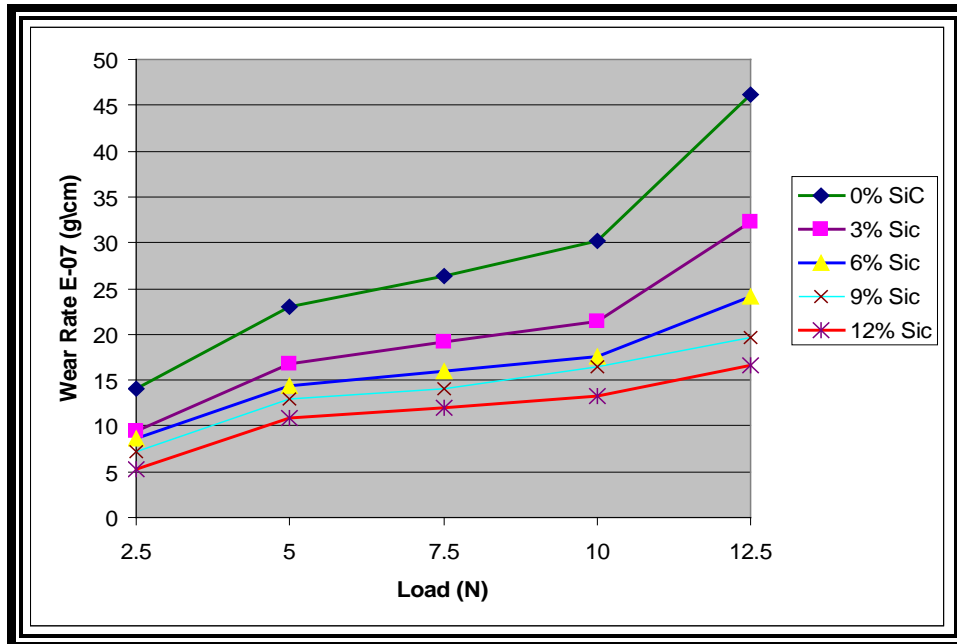
Elements(wt%)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Al
Al -Pure	0.059	0.146	0.057	0.002	0.001	0.002	0.006	0.014	Bal.
Al-4%Cu	0.09	0.209	4.1	0.003	0.006	0.001	0.006	0.010	Bal.
Al-4%Cu-1%Mg	0.082	0.21	4.1	0.005	0.62	0.001	0.01	0.014	Bal.



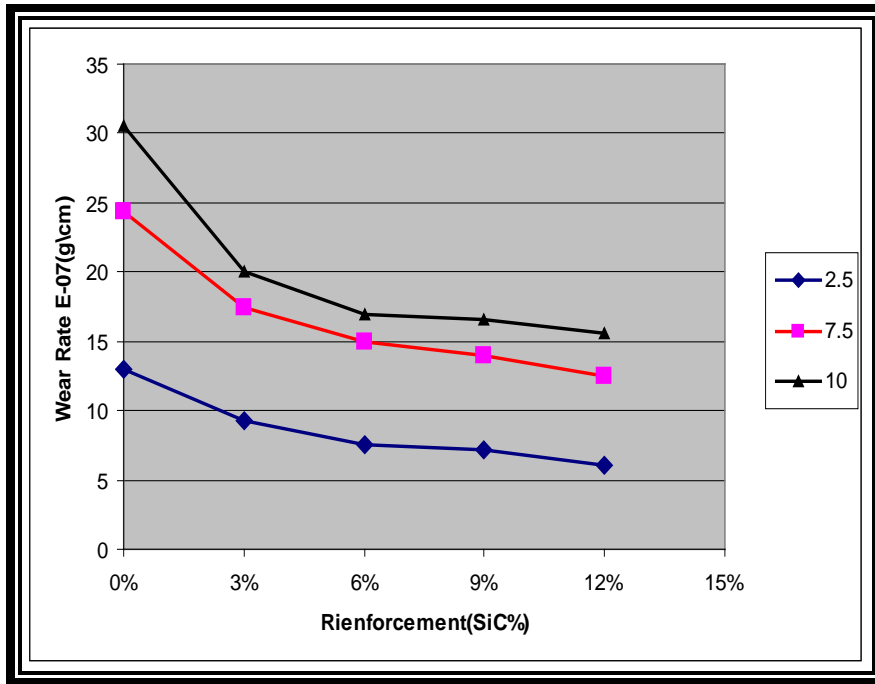
الشكل (1) البنية المجهرية لسبيكة الاساس والمادة المتراكبة
E(12wt%SiC)·D(9wt% SiC)·C(6wt% SiC)·B(3wt% SiC)·A(السبيكة الاساس)



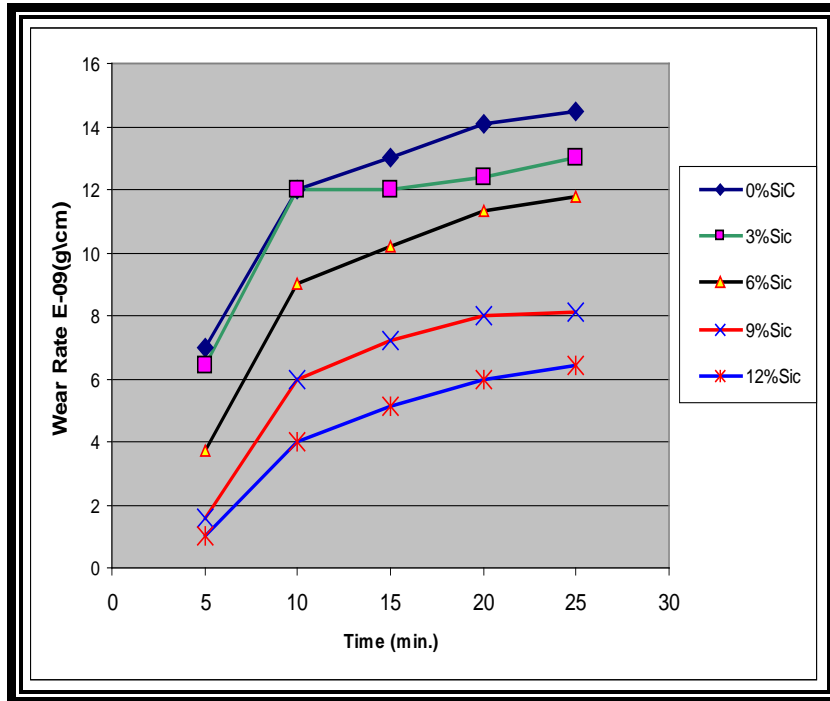
الشكل (2) تأثير نسبة دقائق كربيد السليكون على الصلادة



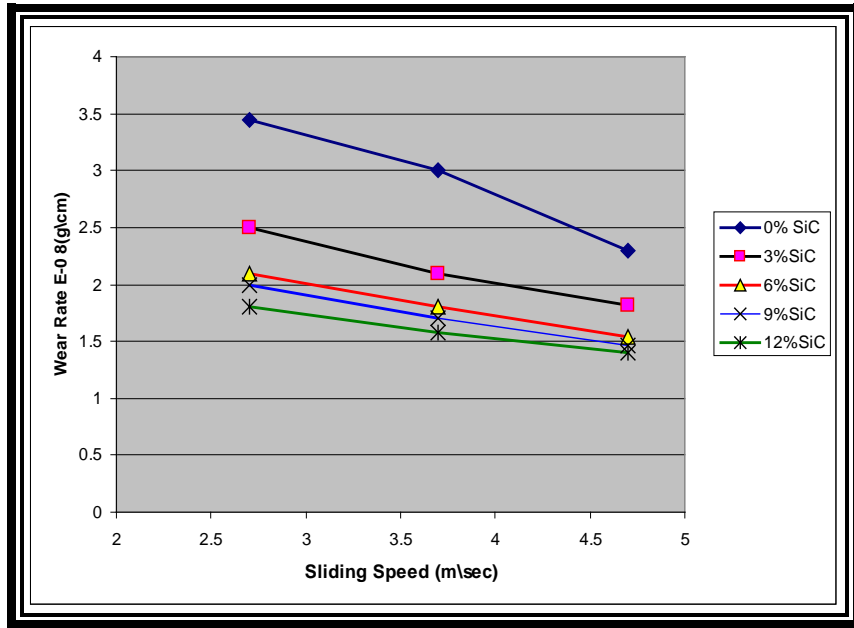
الشكل (3) تأثير الحمل المسلط على معدل البلى, سرعة الانزلاق (3.7 m/sec)



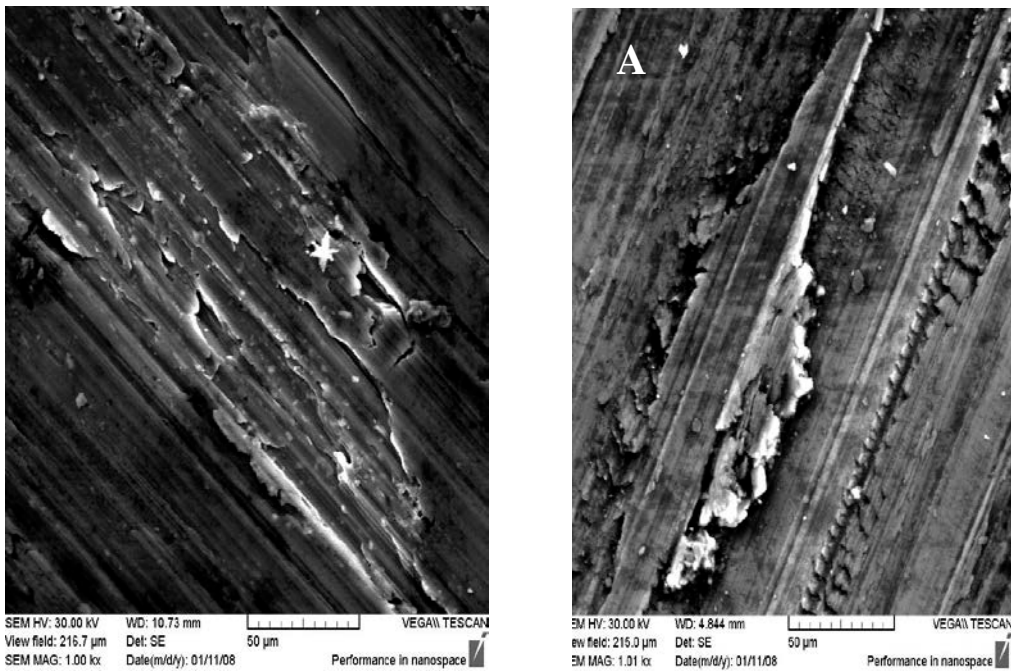
الشكل (4) تأثير نسبة اضافة دقائق كاربيد السليكون على معدل البلى (الاحمال 2.5,7.5,10 N), سرعة انزلاق (3.7 m/sec)



الشكل (5) تأثير زمن الانزلاق على معدل البلى (الحمل المسلط 10N, سرعة انزلاق 3.7m/sec)



الشكل (6) تأثير سرعة الانزلاق على معدل البلى (الحمل المسلط 10N، زمن الانزلاق 25 دقيقة)



الشكل (7) تأثير الحمل المسلط على سطح العينات، نسبة دقائق كاربيد السليكون (6wt%)، مسافة الانزلاق (A) (5.6km) (B) (12.5N) (A) (5.6km) (B) (2.5N) الحمل المسلط