تأثير الكرافيت على مقاومة البلى لسبيكة ألمنيوم - سيليكون

سعد حميد نجم
جامعة بابل- كلية الهندسة
قسم هندسة المواد

عمار جبار بدر
جامعة القادسية- كلية الهندسة
قسم الهندسة الميكانيكية

أسيل هادي حمزة
جامعة بابل- كلية الهندسة
قسم هندسة المواد

الخلاصة:

يتضمن البحث دراسة تأثير الكرافيت على مقاومة البلى لسبيكة ألمنيوم – سيليكون ، إذ تم تحضير هذه السبيكة (السبيكة الأساس) باستخدام طريقة السباكة بالمزج ثم إضافة دقائق الكرافيت بنسبة وزنية مقدارها (5.5%) باستخدام تقنية التحريك بتكوين دوامة (Vortex Technique) . بعدها تم صب السبيكة الأساس والمادة المتراكبة في قوالب معدنية وتحضيرها لاختبار البلى الانزلاقي حيث تم إجراء الاختبار تحت ظروف مختلفة من الحمل المسلط ومسافة الانزلاق وخشونة السطح وعند درجة حرارة الغرفة. من النتائج لوحظ إن معدل البلى يزداد في حالة زيادة أي من الظروف أعلاه وكذلك فان المادة المتراكبة تبدي مقاومة بلى أعلى منها في حالة السبيكة الأساس.

الكلمات الرئيسية: معدل البلى ، كرافيت ، سبيكة ألمنيوم- سيليكون ، مواد متراكبة.

EFFECT OF GRAPHITE ON WEAR RESISTANCE OF ALUMINUM-SILICON ALLOY

Saad Hameed Najem
Babylon University
Materials Department

Amar Jabar Badr
Alqadisiya University
Mechanical Department

Aseel Hadi Hamza
Babylon University
Materials Department

Abstract

This research deals with studying the effect of graphite on the wear resistance of aluminum – silicon alloy. Firstly this alloy (master alloy) is prepared using casting method then graphite particles added in weight ratio (5.5 %) by using vortex technique after that the master alloy and composite material casted in dies and prepared for sliding wear test , wear test was made under different conditions of applied load , sliding distance and surface roughness at the room temperature. The results show that wear rate increases with increasing any of the above conditions, also the composite material show higher resistance wear than of master alloy.

الرموز المستخدمة: Nomenclature

ρ = كثافة العينة gm/cm^3.
M = كتلة العينة في الهواء gm .
V_1= حجم الماء بوجود العينة cm.
V_2=حجم الماء بدون العينة cm.
ΔM = التغيير في الكتلة gm.
ρ = كثافة المادة المستخدمة gm/cm^3.
A = مساحة التماس الحقيقية cm^2.
L = مسافة الانزلاق cm.

المقدمة:Introduction

تتطلب العديد من التطبيقات الهندسية مواد ذات مواصفات خاصة لا يمكن الحصول عليها من أصناف المواد الأساسية، لذا برزت الحاجة إلى إنتاج مواد تمتاز بدمج جيد بين طورين محددين أو أكثر وتمتلك خواص تختلف عن مكوناتها تعرف بالمواد المتراكبة[.Smallman and Bishop ,1999].

إن المواد المتراكبة ذات الأساس المعدني (MMC) والمقواة بدقائق سيراميكية أو معدنية أصبحت ذات استخدامات واسعة جدا ، وذلك بسبب معامل المرونة العالي ، مقاومة البلى والشد المرتفعة . كذلك دخلت هذه المتراكبات كبدائل للمواد المعدنية أو السبائك التقليدية في العديد من التطبيقات الخاصة. ولقد اتصفت المتراكبات ذات الأساس من الألمنيوم على وجه التحديد بمقاومة بلى عالية ومعامل احتكاك واطئ مع زيادة الكسر ألحجمي لدقائق التقوية ، مقارنة مع سبائك الألمنيوم بدون تقوية. إن السلوك الترايبولوجي لهذه المتراكبات دقق من قبل العديد من الباحثين وهنالك العديد من الأعمال بهذا الجانب . ومع ذلك فان أغلب الأدبيات التي تخص المتراكبات ذات الأساس من الألمنيوم تركز فقط على تجانس المواد (انتظام توزيع مادة التقوية) [.Bolton , 2002].

لقد عمل الباحثين على أنتاج متراكبات ذات أساس من الألمنيوم المضمن دقائق من الكرافيت والتي تمثل كمزيت صلب .هذه المواد تمتلك مقاومة بلى ممتازة مما جعل منها بديل ناجح لسبائك(ألمنيوم سليكون) وسبائك النحاس وبقية المواد. إن مسبوكات متراكبات الألمنيوم- كرافيت أنتجت لغرض الاستخدام كمحامل في مكائن الديزل والجلبة bush وزعانف المضخات pump impeller. وهنالك عدة طرق من أجل تضمين دقائق الكرافيت في منصهر سبيكة الألمنيوم لغرض التغلب على قابلية الترطيب الرديئة من الألمنيوم والكرافيت والتي ممكن أن تسبب برفض تام للكرافيت . سابقا، الطريقة الرئيسية كانت هي طلاء سطح دقائق الكرافيت بالمعدن . حيث أن مبدأ هذه الطريقة يعتمد على الترطيب بين معدن الطلاء مع الألمنيوم . وأستخدم معدن النيكل ومعدن النحاس كمعادن طلاء للكرافيت لتحسين قابلية الترطيب ، وهذه الطريقة تتصف بتضمين ناجح لمسحوق الكرافيت بالمنصهر[.Kaw,2006]

وبالرغم من استخدام الطلاء بالنيكل أو النحاس فلقد لجأ الباحثون الى استخدام الخلاط (stirring) لتضمين كمية لا بأس بها من دقائق الكرافيت ضمن السبيكة[Joues ,1975].

وبسبب الصفات الجيدة لخواص الحك والاحتكاك لهذه المتراكبات . فهنالك توجه في السنوات الأخيرة لإنتاج هذه المتراكبات بطرق السباكة التقليدية لغرض خفض كلف إنتاجها وبالتالي زيادة استخدامها بميادين الصناعة الواسعة [Budinski and Budinski ,(2005).].

الهدف من البحث الحالي هو دراسة تأثير الكرافيت على مقاومة البلى لسبيكة ألمنيوم – سيليكون.

الجانب العملي: Experimental work

تحضير السبيكة الأساس والمادة المتراكبة

تحضير السبيكة الأساس

تم تحضير سبيكة الألمنيوم الأساسية (Master alloy) المستخدمة في هذا البحث ، وهي سبيكة (Al – 7.4% Si – 1% Mg) إذ تم صهر حوالي (4.3 Kg) من الألمنيوم النقي (99.99%) في فرن كهربائي تصل درجة حرارته إلى (1200 Cº) باستخدام بودقة من الألو مينا سعتها (7 Kg) وعند درجة حرارة (750 Cº) ويتم خلط المعدن لغرض المجانسة باستخدام خلاط ذو سرع مختلفة (108 – 1260) دورة/دقيقة ، وعند ضمان انصهار الألمنيوم تم وضع قطع صغيرة من السليكون والمغنيسيوم كل على جانب داخل رقائق من الألمنيوم بنقاوة (99.99%) وإضافتها حسب النسبة المحددة في مركز الدوامة التي يكونها المازج أثناء عملية الخلط ثم يستمر الخلط والمزج لمدة(3 – 5) دقائق بعدها يتم صب المعدن المنصهر في قالب من الصلب .

تهيئة الكرافيت

قبل إضافة الكرافيت إلى السبيكة الأساس تم طلاءه بالنحاس وعملية الطلاء تمت على الشكل الآتي [Electroplating Engineering Handbook,Vol.14, published by CBS,1987.]:

إذابة (13.8 gm)، (69.2 gm)، (20 gm) من كبريتات النحاس المائية وطرطرات الصوديوم (ملح روشل)وهيدروكسيد الصوديوم على التوالي في كمية من الماء المقطر كلا على جانب ثم تمزج المحاليل أعلاه بشكل جيد بعدها يتم إضافة (40 ml) من مادة الفورملدهايد إلى المزيج الناتج ثم تضاف كمية من الماء المقطر إلى المزيج بحيث يكون الناتج النهائي للماء المقطر لتر واحد. بعد ذلك تم إضافة (75gm) من الكرافيت ذو الحجم الحبيبي(63– 105) مايكرون إلى الخليط أعلاه وتم الخلط باستمرار لمدة ساعة كاملة لضمان تجانس ترسيب النحاس على دقائق الكرافيت والعملية تمت بدرجة حرارة الغرفة. بعدها تم ترشيح المواد من خلال ورق ترشيح وأخذت العجينة الناتجة وتم تجفيفها في فرن كهربائي بدرجة 50ºC لمدة 12 ساعة.

تحضير المادة المتراكبة

بعد تحضير السبيكة الأساس تم تقطيعها بأوزان مختلفة وقد تم صهر حوالي (4.5 Kg) من السبيكة الأساس في منظومة الصهر عند درجة الحرارة(750ºC) وتم خلط المعدن المنصهر باستخدام الخلاط الذي يدور بسرعة (420 rpm) لحين الوصول إلى الحالة شبه الصلبة الخاصة بالسبيكة وهي بحدود(630ºC) والتي تم تحديدها حسب مخطط التوازن الحراري لسبيكة ألمنيوم – سيليكون[Metals Handbook, Vol. 8 American Society for metals, Metals Park,Ohio,1973.]تم بعدها إضافة دقائق الكرافيت والتي تم تسخينها مسبقا إلى (400ºC) لغرض التخلص من الرطوبة الموجودة على سطح الدقائق وبنسبة وزنية مقدارها (5.5 %) بعد ذلك تم رفع درجة حرارة الفرن إلى (800ºC) ولمدة (20 min.) وأجريت عملية الخلط قبل الصب لضمان الحصول على توزيع منتظم ومتجانس لدقائق الكرافيت في المادة المتراكبة وتمت عملية الصب في قالب معدني تم تسخينه مسبقا إلى (250ºC).

تحضير العينات

بعد تحضير كلا من السبيكة الأساس والمادة المتراكبة تم تقطيعها للحصول على العينات اللازمة ومن ثم إجراء الاختبارات عليها. ومن الجدير بالذكر إن أبعاد عينات اختبار البلى هي ذاتها التي استخدمت للفحص ألمجهري ولحساب الكثافة حيث كانت العينات اسطوانية بقطر (5mm) وطول (10mm) [Elmadagli and Alpas, (2006).]بعد ذلك تم تحضير سطح العينات قبل إجراء الاختبار عليها وتضمن التحضير عملية التنعيم باستخدام ورق من كاربيد السيليكون ذي تدرجات (220 ، 400 ، 600 ، 1000 ، 1200) بعدها أجريت عملية الصقل لعينات الفحص المجهري فقط واستخدم في العملية مسحوق الالومينا والماء كما أجريت عملية الغسل والتجفيف بالهواء الساخن بين كل عملية تنعيم أو صقل وأخرى أما لعملية الإظهار فقد استخدم محلول – Graff Sargent والمتكون من [84 ml H_2O , 15 ml HNO_3 , 0.5 ml HF , and 3 gm CrO_3].

حساب كثافة العينات

حسبت كثافة العينات المنتجة في البحث عن طريق قياس الوزن بواسطة ميزان الكتروني حساس (Sartorius BP 301 S) يعمل بدقة (±1mg) واستخدم الماء المقطر كوسيط سائل داخل اسطوانة زجاجية مدرجة ذات سعة (100 ml). وحسبت الكثافة عمليا من خلال المعادلة الآتية [Al-Ammar , 2008]:

$$\rho = \frac{M}{V_1 - V_2} \qquad (1)$$

الفحص بالمجهر الضوئي

لغرض إجراء التصوير بالمجهر الضوئي فقد حضرت العينات كما ذكرنا سابقا وتم تصويرها باستخدام مجهر ضوئي صيني الصنع بقوة تكبير(400X) و**الشكل (1)** يوضح البنية المجهرية لكل من السبيكة الأساس والمادة المتراكبة.

قياس خشونة سطح العينات

بعد أن تم إجراء عملية التنعيم للعينات باستخدام ورق تنعيم مختلف الدرجات تم قياس خشونة سطح العينات وسطح القرص المستخدم باستخدام جهاز قياس الخشونة (Taylor Hobson) دنماركي الصنع وتم قياس الخشونة بمعدل ثلاث قراءات للعينة الواحدة واخذ متوسط الخشونة لهذه القراءات.

قياس معدل البلى

نفذ اختبار البلى ألانزلاقي الجاف باستخدام تقنية التغيير بالكتلة كأساس للقياس حيث تم عمل المصفوفة بين معدل البلى من جهة والحمل المسلط ومسافة الانزلاق والخشونة السطحية من جهة أخرى وبالاعتماد على المعادلة الآتية [Ivkragelsky, Dobyehin, Vskombalov, 1982.]:

$$\text{Wear Rate} = \frac{\Delta M}{\rho L A} \qquad (2)$$

واستخدم لهذا الاختبار جهاز قياس البلى ألانزلاقي ذي ترتيبة المسمار إلى القرص (Pin-on-Disk) والمصمم طبقا لمواصفات (ASTM) لغرض الحصول على حالة التلامس مابين العينة والقرص الدوار تحت تأثير حمل عمودي ، ويتكون الجهاز من محرك ذي سرعة دورانية ثابتة (1370 rpm) وتتم عملية نقل الحركة من المحرك إلى القرص على مرحلتين ، المرحلة الأولى يتم فيها نقل الحركة من المحرك بواسطة البكرة التي تم تثبيتها عليه وحزام ناقل للحركة نوع (V-Belt) إلى العمود الوسطي التي ثبتت عليه بكرتان احدهما لاستلام الحركة والأخرى لنقلها ، أما المرحلة الثانية فتتضمن نقل الحركة من العمود الوسطي إلى العمود المثبت عليه القرص . هذا بالإضافة إلى إن الجهاز يحتوي على ذراع ذي مقطع مستطيل في نهايته ماسك (holder) لتثبيت العينة فيه علما إن قطر الماسك حوالي (5.5 mm) .

النتائج والمناقشة : Result and Discussion

قابلية الترطيب

لتحسين قابلية الترطيب بين السبيكة الألمنيوم والكرافيت استخدمت ثلاث طرق مختلفة وهي تسخين حبيبات الكرافيت وطلاء الكرافيت بالنحاس وإضافة المغنيسيوم. ففي حالة عدم تسخين الكرافيت فان كثيرا منه يبقى على سطح السبيكة المنصهرة والذي بدوره يكون عائقا رئيسيا في تقدم بقية حبيبات الكرافيت إلى داخل المنصهر وعليه تم تسخين الكرافيت إلى (400ºC) ولمدة ساعة واحدة[Krishnan, Surappa andRohatgi, (1981)]أما عملية طلاء حبيبات الكرافيت فإنها تضمن دخول هذه الحبيبات وتوزيعها بشكل أفضل مما لو لم تتم عملية الطلاء [Wu and Beech, (1990).]. أما بالنسبة لإضافة المغنيسيوم فانه يستخدم لتقليل الشد السطحي لسبيكة الألمنيوم ويعتبر المغنيسيوم مادة مفضلة لأنه رخيص الثمن ومتوفر والمعروف عن المغنيسيوم بأنه يحسن قابلية الترطيب لان الشد السطحي له اقل من الألمنيوم النقي فالشد السطحي للمغنيسيوم (559 mN/M) أما للألمنيوم (760 mN/M) عند درجة الانصهار كذلك فان المغنيسيوم للألمنيوم المنصهر يقلل زاوية التماس مع الكرافيت مقارنة مع الألمنيوم لوحده مع الكرافيت [Delanny,Froyen and Derruyttere, (1987)] .

كثافة العينات

كثافة السبيكة الأساس كانت بحدود ($2.74\ gm/cm^3$) أما المادة المتراكبة فقد أبدت انخفاضا في قيمة الكثافة ، إذ بلغ هذا الانخفاض حوالي (5%) من كثافة السبيكة الأساس. ويمكن أن يعزى هذا النقصان إلى وجود الكرافيت في [Ashby and Jones, 2007.].

تأثير الحمل المسلط على معدل البلى

يلاحظ من **الشكل (2)** إن معدل البلى يتغير بشكل طردي مع الحمل المسلط وكلما زاد الحمل زاد ميل المنحنى حيث يحصل انتشار وتوزيع الحمل على العينة وان انتقال تأثير الحمل يخضع لنوع المادة اللدنة المستخدمة وكذلك الطاقة الحرارية المتولدة بسبب الاحتكاك بين سطح التلامس للعينة مع السطح الخشن (سطح القرص) الذي تتحرك عليه العينة وهو مايطلق السطح البيني . وان تعليل ذلك هو حصول انفعالات قص ناتجة عن الإجهاد الضغطي بسبب تسليط الحمل وهذه الانفعالات تسبب انتقال جزء من سطح العينة إلى سطح القرص مما يرفع من قيمة معامل الاحتكاك الذي بدوره يسبب زيادة قوة الاحتكاك والتي ينتج عنها زيادة في كمية المادة المزالة من سطح العينة الملامس لسطح القرص إلى سطح القرص نفسه. وكنتيجة لسلسلة العمليات المذكورة أعلاه فان مساحة التلامس سوف تزداد باستمرار مما يزداد معدل البلى [.Sarkar, 1980]. ويلاحظ في الشكل أيضا إن مقاومة المادة المتراكبة للبلى أعلى من مقاومة السبيكة الأساس حيث إن للحبيبات الكرافيتية القدرة على أن تعمل كمزيت بسبب خواصها الحرارية المساعدة على ذلك كالموصلية الحرارية والسعة الحرارية النوعية التي تؤدي إلى توليد حرارة احتكاك قليلة عند السطح البيني مما يساعد على تقليل معدل البلى [.[Smallman ,Bishop,1999

تأثير مسافة الانزلاق على معدل البلى

يلاحظ من **الشكل (3)** إن معدل البلى يزداد بزيادة مسافة الانزلاق ، وفي بداية حركة القرص سوف تنتقل أجزاء صغيرة من مادة العينة الى سطح القرص نفسه وينتج عن ذلك التصاق هذه الأجزاء بسطح القرص مخلفة أخاديد داكنة على هيئة خطوط في السطح السفلي للعينة وبتواصل الانتقال تنخفض خشونة سطح القرص المستخدم نتيجة لملئ الفجوات. علما إن الانتقالات تحصل بشكل متقطع وغير مستمر. وبزيادة مسافة الانزلاق يزداد معدل البلى وحسبما يلاحظ في الشكل أعلاه ويمكن أن يعزى ذلك الى زيادة قيمة الشغل المنجز من قبل قوة الاحتكاك مما يعني تحول تدريجي الى طاقة حرارية عاملة على زيادة معدل البلى [.Halling, 1979].

تأثير خشونة السطح على معدل البلى

يلاحظ من **الشكل (4)** زيادة معدل البلى بزيادة خشونة سطح العينة والسبب في ذلك يعود إلى ان خشونة سطح القرص الدوار والتي قيمتها ($1.708\mu m$) تكون أعلى من خشونة سطح العينات كافة ، ولما كان سطح القرص خشنا فان نتوءات هذا السطح سوف تقتلع جسيمات المادة وبالتالي تزداد كمية المادة المنتقلة بسبب زيادة درجة الحرارة نتيجة الاحتكاك مما يؤدي الى تكسر الأواصر وتوليد فجوات هوائية وهذه الأخيرة تسبب توليد الشقوق والتي ينتج عنها حصول تكوين حطام البلى[.(Elmadagli, Perry and Alpas, (2007] والذي يمكن استنتاجه من النقصان الحاصل بكتلة العينة المختبرة وتلون سطح القرص بلون قريب إلى مادة العينة.

إن المادة المتراكبة تبدي مقاومة بلى أعلى من السبيكة الأساس كما واضح من **الشكل (4)** والسبب في ذلك كما اسلفنا هو قدرة الحبيبات الكرافيتية على التزييت والتي تؤدي إلى توليد حرارة احتكاك قليلة عند السطح البيني مما يؤدي إلى انخفاض معدل البلى.

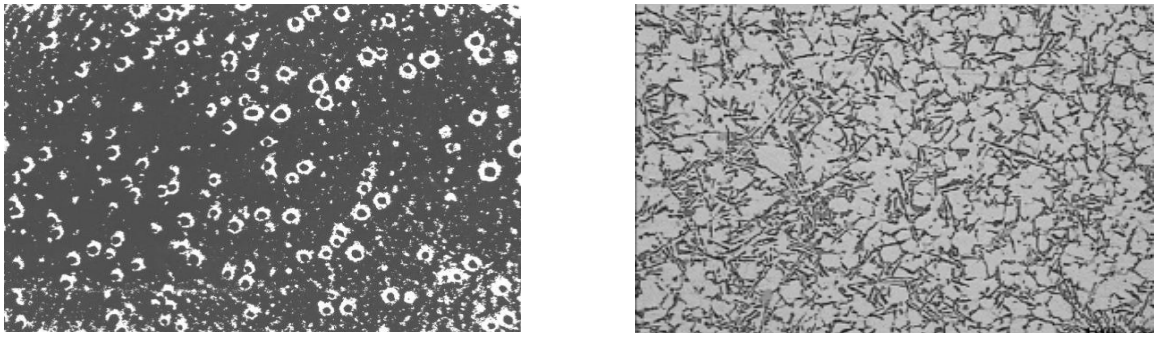
الاستنتاجات : Conclusions

1- تسخين الكرافيت وطلاءه بالنحاس وإضافة المغنيسيوم إلى السبيكة الأساس كلها أدت الى تحسين قابلية الترطيب.
2- إضافة الكرافيت الى السبيكة الأساس يقلل من كثافتها .
3- بصورة عامة مقاومة المادة المتراكبة للبلى أفضل من السبيكة الأساس .

4- الفضل في مقاومة المادة المتراكبة للبلى يعود الى وجود حبيبات الكرافيت التي تمتلك القدرة العالية على تبريد نفسها وبصورة عامة تساهم في انخفاض معدل البلى .

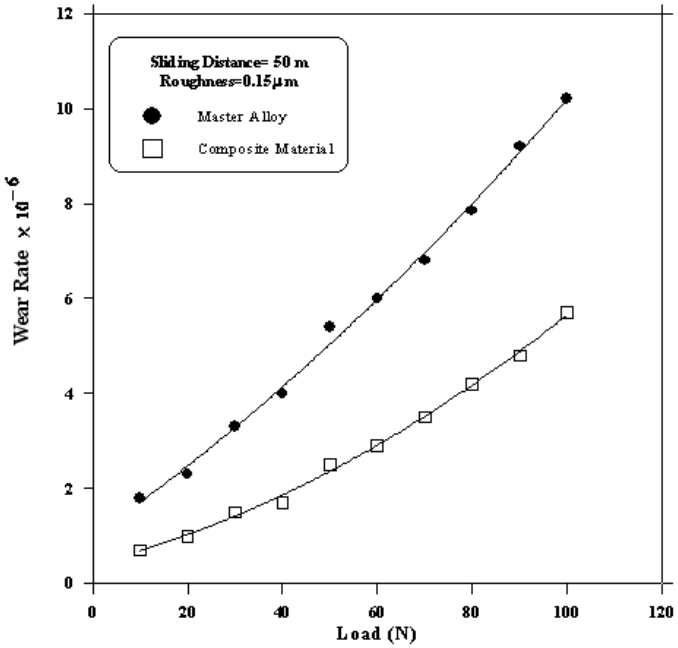
References:المصادر

1. R.E.Smallman and B.J.Bishop,"Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering" published by Reed Educational and Professional Ltd,1999.
2. W.Bolton, " Engineering Material Technology", third edition, Amember of Reed Elsevier group, 2002.
3. A.K.Kaw,"Mechanics of Composite Materials" published by CRC Press,2006.
4. R.M.Joues," Mechanics of Composite Materials", Scripta Book Company, Washington D. C., 1975
5. K.G. Budinski and M.K. Budinski ,"Engineering Materials, Properties and Selection" published by Prentice-Hill(2005).
6. Electroplating Engineering Handbook,Vol.14,"Nonelectrolytic Metal Coating Processes" published by CBS,1987.
7. Metals Handbook, Vol. 8 ,"Metallographic , Structures and Phase Diagrams", American Society for metals, Metals Park,Ohio,1973.
8. M.Elmadagli and A.T.Alpas,Wear 261(2006)367-381.
9. J.H.Al-Ammar, "Investigation the possibility of development the preparation of aluminum alloy 8009 by improving the manufacturing process, alloying elements and surface treatment, PhD thesis , University of Babylon, College of Engineering , Material Eng. Dept. 2008.
10. Ivkragelsky, M.N.Dobyehin, Vskombalov, "Friction and Wear, Calculation Methods", Translated from the Russian by Standen,1982.
11. B.P.Krishnan,M.K.Surappa and P.K.Rohatgi, Journal of Material Science 16(1981)1209-1216.
12. W.Wu and J. Beech, Journal of the Foundryman, Feb.(1990)83-88.
13. F.Delanny,L.Froyen and L.Derruyttere, Journal of Material Science 22(1987)1-16.
14. M.F.Ashby and D.R.Jones," Engineering Material, An Introduction to properties, Applications and Design" published by Elsevier Ltd 2007.
15. D.Sarkar," Friction and Wear "Academic Press Inc. (London) Ltd.,1980.
16. J.Halling, "Principle of Tribology" published by the Macmillam Press Limited, London, 1979.
17. M.Elmadagli,T.Perry and A.T.Alpas,Wear 262(2007)79-92.

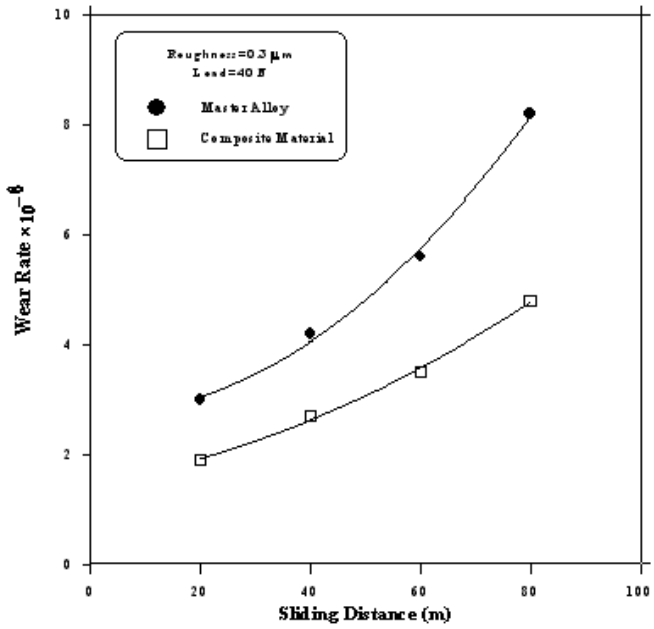


(b) (a)

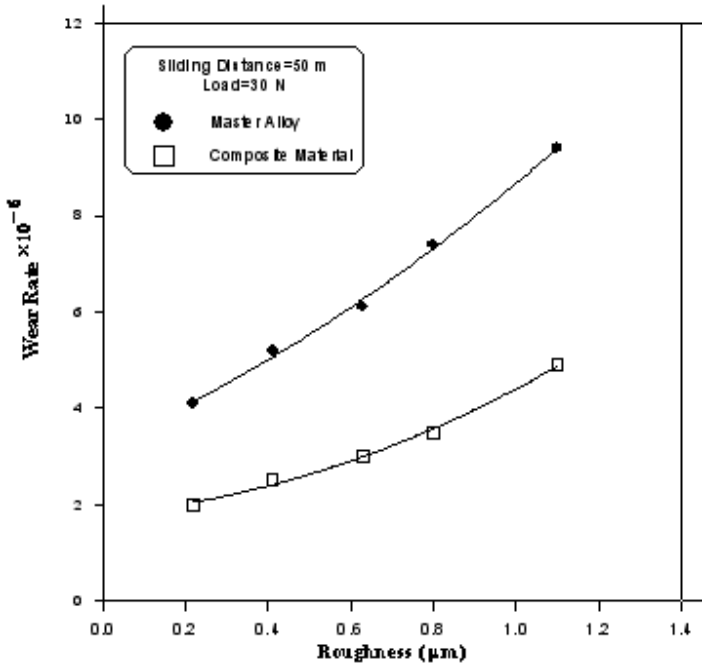
الشكل (1) البنية المجهرية للعينات (a) السبيكة الأساس (b) المادة المتراكبة



الشكل (2) العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط.



الشكل (3) العلاقة بين معدل البلى ومسافة الانزلاق.



الشكل (4) العلاقة بين معدل البلى وخشونة السطح.