

تأثير اضافة دقائق الكرافيت على مقاومة البلى ومعامل الاحتكاك لسبيكة البراص ألفا

د. اسراء عبد القادر* و مريم عبد العظيم باقر*

تاريخ التسليم 2008/8/31

تاريخ قبول النشر 2008/11/13

الخلاصة

يهدف البحث الى دراسة تأثير اضافة دقائق الكرافيت بنسب وزنية مختلفة (5،10،15)% الى سبيكة البراص نوع α (Cu- 29.5% Zn) المنتجة بطريقة السباكة بالتحريك (Stir Casting) باتباع تقنية الدوامية (Vortex Technique) على مقاومة البلى والاحتكاك تحت ظروف الانزلاق الجاف باستعمال تقنية المسمار على القرص ، لقد تم استعمال ثلاثة احمال (5،10،15) نيوتن تحت تأثير سرع انزلاقية مختلفة (2.7، 3.7، 4.7) متر/ثانية ، وقد أظهرت النتائج بان معدل البلى يزداد بصورة عامة بزيادة الحمل المسلط لكن أبدت المادة المترابطة المقواة بدقائق الكرافيت معدل بلى أقل مما هو عليه للسبيكة الاساس وان مقاومة البلى للمادة المترابطة المقواة بدقائق الكرافيت بنسبة 15 wt% كانت أعلى من تلك المقواة بنسبة 5 wt% . أما عند استخدام سرع انزلاقية مختلفة فأظهرت النتائج بان معدل البلى ينخفض مع ازدياد سرعة الانزلاق . وعند حساب معامل الاحتكاك عند الأحمال العالية للمادة المترابطة وجد انه يكون أقل من معامل الاحتكاك عند الأحمال القليلة بينما يقل معامل الاحتكاك مع زيادة سرعة الانزلاق وعند جميع الأحمال المستخدمة ، وقد أبدت المادة المترابطة المقواة بدقائق الكرافيت انخفاضاً ملحوظاً بدرجة الحرارة عند قياس درجة الحرارة السطحية بالمقارنة مع السبيكة الاساس .

الكلمات المرشدة : المواد المترابطة ، السباكة بالتحريك ، البلى والاحتكاك

Effect of Graphite Particles Addition on the Wear Resistance and Friction coefficient of Brass Alloy (α)

Abstract

This research is devoted to study the effect of different percentage of Graphite particles addition (5,10,15) wt% to Brass alloy (α) produced by stir casting using vortex technique , on the wear resistance and the coefficient of friction under dry sliding conditions using pin-on-disk technique . Three loads (5, 10, 15) N were used at different sliding speeds effect (2.7,3.7,4.7) m/sec . The results showed that the wear rate is increased in general with increasing the applied load , but the composite material reinforced with graphite particles showed wear rate lower than that of the base alloy .The wear resistance of the composite material reinforced with graphite particles with 15 wt% was higher than that of reinforced with 5 wt% . When different sliding speeds were used , the results showed that , the wear rate is decreased with increasing sliding speed .When the coefficients of friction was measured at high loads , It is clear that the composite material has low coefficient of friction as compared with that at low loads , while it is decreased with increasing sliding distance at all used loads , and the composite material reinforced with graphite particles showed remarkable decreasing in temperature when surface temperatures were measured as compared with base alloy.

المقدمة

يعد تطور المواد المترابكة ذات الأساس المعدني (Metal Matrix Composites (MMCs) (Composite Materials) واحداً من الانجازات المهمة خلال العقدين الماضيين في حقل علم المواد (Material Science (Field)، إذ تعد كمواضع مرشحة لتطبيقات عديدة^[2,1] وان الحاجة لمثل هذه المواد الهندسية مع خصائص ميكانيكية محسنة، قد شجعت الدراسات العلمية والتجارب العملية في الجامعات والمعاهد البحثية لتعطي معرفة علمية عن كيفية تحسين خواص المواد المترابكة نسبة الى السبائك الاحادية (Monolithic Alloys)^[4,3]، وقد أظهرت المواد المترابكة ذات الأساس المعدني (MMCs) زيادة في معامل المرونة (Modulus of Elasticity) وتقليل في معامل التمدد الحراري (CTE) (Coefficient of Thermal Expansion) مع انخفاض واضح في الكثافة قد حصل بالمقارنة مع السبيكة الأساس ومقاومة عالية للبلى والتآكل والمحافظة على التوصيل الحراري والكهربائي للأرضية فضلاً عن أنها تتميز باستقرارية حرارية جيدة بالمقارنة مع السبائك غير المقواة^[8,7,6,5]، وهذا يجعلها في اختيار ممتاز لصناعة المفاتيح الكهربائية (Electrical Switches) وأقطاب لحام المقاومة (Resistance Welding Electrodes)^[9] وفي تطبيقات التغليف الإلكتروني (Electronic Packaging)^[10] وفي تطبيقات صناعية أخرى مثل التطبيقات البحرية (Marine Applications)^[6].

وقد بينت الدراسات ان إضافة دقائق كاربيد السليكون الى أرضية النحاس أو سبائكه له الأثر الكبير في تحسين الخواص الميكانيكية عند درجات الحرارة العالية ومقاومة البلى دون حصول تدهور شديد للتوصيل الحراري والكهربائي للأرضية^[2]، أما دقائق الكرافيت فانها تزيد الخواص الترابيولوجية لسبائك النحاس مما دفع الى استعمال هذه المواد في صناعة المحامل

(Bearing) وصناعة موصلات الكهرباء الانزلاقية (Sliding Electrical Contacts)^[11,5].

لقد قام عدد كبير من الباحثين بانتاج مادة مترابكة ذات اساس نحاس مقواة بدقائق الكرافيت ودراسة مقاومتها للبلى والاحتكاك . فقد درس الباحث Kim J.K وآخرون^[11] الخواص الترابيولوجية لمادة مترابكة ذات اساس نحاس (Cu-8 Sn) والمقواة بدقائق الكرافيت بحجم حبيبي 5 μm وبنسبة 13 vol%، حيث تم انتاج المادة المترابكة بسبائك الطرد المركزي، ثم اجراء اختبار البلى الانزلاقي الجاف بتطبيق تقنية Pin-on-disk، حيث تبين ان المنطقة الغنية بالكرافيت لها مقاومة بليان أعلى من المنطقة الخالية من الكرافيت .

وقد قام الباحث Kestursatya M. وآخرون^[12] بدراسة الخواص الترابيولوجية للمادة المترابكة ذات اساس نحاس نوع C90300 مقواة بدقائق الكرافيت بنسبة وزنية 10% وبحجم حبيبي 5μm ومقارنتها مع سبيكة نحاس - رصاص (Pb 18-22%)، إذ تم انتاج المادة المترابكة بسبائك الطرد المركزي، حيث اجري اختبار البلى الانزلاقي بتقنية Pin-on-disk، وتبين ان المادة المترابكة المقواة بدقائق الكرافيت لها مقاومة بليان أعلى مما هو عليه لسبيكة نحاس - رصاص .

درس الباحث Zhao H. وآخرون^[13] سلوك البلى للمادة المترابكة ذات اساس نحاس مقواة بدقائق الكرافيت بحجم حبيبي 5μm. إذ تم تحضير المادة المترابكة بتقنية التشكيل الكهربائي (Electroforming Technique) في حمام يحتوي على كبريتات النحاس بنسبة 200 g/L وحامض الكبريتيك بنسبة 60 g/L مع دقائق الكرافيت . حيث تبين بان معامل الاحتكاك يزداد الى ان يصل الى حالة مستقرة (Steady State) أما عندما تكون نسبة دقائق الكرافيت المضافة عالية فيصل معامل الاحتكاك الى حالة مستقرة

الدوامية وبالنسب المطلوبة البالغة (5,10,15) %، بعد أن تم طلاء دقائق الكرافيت بالنحاس بطريقة الطلاء اللاكهربائي باستعمال محلول سيانيدى جدول (2) ولمدة ثلاث ساعات بعدها تم ترشيح المحلول بورق الترشيح وترسيب الكرافيت المطلي بالنحاس ومن ثم تم تجفيفه وتسخينه بالفرن الى (300°C) قبل اضافته الى المنصهر لتحسين قابلية الترطيب لطور التقوية في المنصهر والحصول على التوزيع المتجانس لدقائق التقوية فقد تم استعمال طريقة السباكة بالتحريك على مرحلتين (Two-Step) Mixing and Stir Casting Method، حيث اجريت عملية الخلط باستعمال خلاط كهربائي (Electrical Stirrer) وبسرعة تدوير (630 r.p.m) ولمدة (15) دقيقة ، وبعد اضافة الخارصين بنسب وزنية معينة اجريت عملية الخلط مرة اخرى مدة دقيقة واحدة وبنفس سرعة التدوير ثم بعدها تم صب المنصهر في القالب المعدني المسخن مسبقاً الى درجة حرارة (300°C) .

لقد تم تشغيل كل من صببات السبيكة الاساس والمواد المترابكة المقواة بدقائق الكرافيت وبنسب مختلفة على المخزطة للحصول على عينات اسطوانية بقطر 10 ملم وطول 20 ملم . بعد ذلك اجراء عملية التنعيم الرطب بالماء باستخدام ورق التنعيم بالدرجات 1000,500,320,220 . ثم اجراء عملية الصقل باستخدام قماش صقل خاص ومحلول الالومينا بحجم حبيبي 0.5 مايكرون ومن ثم تم غسل العينات بالماء والكحول النقي ثم تجفف .

واجري اختبار البلى الانزلاقي الجاف بطريقة (Pin-on-disk) باتباع الخطوات الآتية :-

- 1- وزن العينة قبل الاختبار .
- 2- استخدام قرص من الصلب الكربوني ذو صلادة 68 HRC .
- 3- تنعيم القرص بورق التنعيم 1000 قبل الاختبار ولكل مرة .

وخلال فترة زمنية قصيرة . أما آلية البلى بالنسبة للنحاس النقي وللمادة المترابكة فتحصل الأليتان على التوالي آلية البلى الالتصاقى (Adhesive Wear) والبلى الانفصالي (Delamination Wear) فضلاً عن حدوث آلية البلى الاوكسيدي (Oxidation Wear) بشكل قليل جداً .

يهدف البحث الحالي الى انتاج مادة مترابكة من سبيكة براص α (Cu-29.5% Zn) مقواة بدقائق الكرافيت بطريقة السباكة بالتحريك باتباع تقنية الدوامية (Vortex Technique) باضافة نسب وزنية من الكرافيت (5,10,15) % ومن ثم دراسة تأثير نسب دقائق الكرافيت المضافة على معدل البلى ومعامل الاحتكاك ودرجة الحرارة السطحية .

الجزء العملي

تم تحضير السبيكة الاساس (Cu - 29.5% Zn) بصهر النحاس التجاري باستعمال فرن صهر غازي عند درجة حرارة (1150°C) ، بعدها تم اضافة الخارصين ، ومن ثم تم اضافة مزيج الخبث البوراكس بنسبة 1% وازالة الخبث الناتج ، ومن ثم اخراج البوتقة من الفرن وصب المنصهر في قالب معدني يحوي على تقوب اسطوانية عدد 5 وبالأبعاد (طول 100 ملم ، قطر 15 ملم) سبق تسخينه الى درجة (300°C) .

وقد تم إجراء التحليل الكيمياءى للسبيكة الاساس في الشركة العامة للمعدات الثقيلة باستخدام جهاز (Atomic Absorption) ويوضح الجدول (1) التركيب الكيمياءى للسبيكة المستخدمة .

لغرض تحضير المادة المترابكة ، تم اضافة دقائق الكرافيت بمدى حجمي μm (53 +75-)، وذلك بصهر النحاس أولاً داخل بوتقة سيراميكية من كاربيد السليكون باستخدام فرن صهرغازي عند درجة حرارة (1150°C) لضمان الانصهار الكامل وضمان حصول عملية الترطيب لدقائق التقوية اثناء اضافتها الى المنصهر ، ومن ثم تم اضافة دقائق الكرافيت وبصورة تدريجية الى مركز

N:- السرعة الدورانية للقرص .
 t : زمن الدوران (20 دقيقة) عند كل اختبار .
 ان جهاز قياس البلى يستعمل ايضاً لقياس قوة الاحتكاك والتي تعرف بانها القوة المماسية الناشئة ما بين سطح العينة و سطح القرص اثناء عملية الانزلاق .
 ان هذه القوة تم قياسها بواسطة استعمال مقياس الانفعال (strain gauge) ، إذ تم تثبيت مقياسين ، وذلك بـلصقهما على الوجة العمودية لذراع العتبة (Lever arm) الذي تثبت فيه العينة وبصورة متقابلة وعمودية على الذراع كما موضح في الشكل (1).

ان مقياس الانفعال يقيس الانفعال المباشر (The elastic bending) للذراع . وقد تم ربط مقياسي الانفعال على شكل نصف قنطرة (Half-bridge) يربط هذا المقياس مع قارئ الانفعال الرقمي (Microstrain meter) وذلك لقياس الانفعال الدقيق ومن منحى المعايرة والموضح بالشكل (1) يتم استخراج قوة الاحتكاك (F) وبتطبيق المعادلة الآتية^[15] يستخرج معامل الاحتكاك (μ) :

$$m = F / W \dots (1 - 4)$$

حيث ان

F: قوة الاحتكاك (N).

W: الحمل العمودي المسلط (N).

لقد تم قياس قوة ومعامل الاحتكاك باتتباع الخطوات الآتية :-

- 1- تثبيت العينة في المكان المخصص لها.
- 2- تثبيت الحمل المسلط (5,10,15)N وبشكل عمودي على العينة.
- 3- تنظيف القرص الفولاذي قبل البدء بالتجربة.
- 4- تصفير جهاز مقياس الانفعال وتشغيل جهاز البلى.
- 5- تشغيل ساعة التوقيت مع جهاز البلى في ان واحد.

- 4- تنظيف القرص بالكحول .
 - 5- تثبيت العينة في المكان المخصص لها وبصورة مستوية .
 - 6- جعل الذراع مستوياً في حالة افقية بواسطة ميزان ذي فقاعة .
 - 7- اختيار احمال مختلفة (5,10,15) نيوتن .
 - 8- اختيار سرعة انزلاق معينة (2.7,3.7,4.7) متر/ثانية .
 - 9- البدء بتشغيل الجهاز وضبط الوقت باستعمال ساعة توقيت .
 - 10- ايقاف الجهاز بعد مرور 20 دقيقة لكل عينة .
 - 11- وزن العينة بعد الاختبار لتحديد الفقدان بالوزن .
- ومن ثم حساب معدل البلى باتتباع الطريقة الوزنية (Weighting Method) والتي تضمنت حساب الفقدان بالوزن (Weight Loss Measurement) . وذلك بوزن العينة قبل الاختبار وبعده بميزان حساس رقمي ذي حساسية 0.0001 gm نوع (Denver Instrument) ثم نحسب الوزن المفقود كما يأتي :-

$$\Delta W = W_1 - W_2 \dots (1 - 1)$$

حيث تمثل :-

ΔW : الفرق بالوزن للعينة قبل الاختبار وبعده الاختبار ، غم.
 W_1 : وزن العينة قبل الاختبار ، غم.
 W_2 : وزن العينة بعد الاختبار ، غم.
 أما بالنسبة لمعدل البلى فتم حسابه كما في المعادلة الآتية^[14] :-

Wearrate

$$= \Delta W / S (gm / cm) \dots (1 - 2)$$

وبتعبير مسافة الانزلاق الكلية (S) والمقاسة بال (سم) يحسب معدل البلى من المعادلة التالية :-

$$\text{Wear rate} = \frac{\Delta W}{pD_s Nt} \dots (1 - 3)$$

حيث ان :-

D_s :- قطر دائرة الانزلاق .

الشكل (4). ويعزى سبب ذلك الى أنه بزيادة الحمل المسلط يزداد التشويه اللدن (Plastic Deformation) الحاصل لقمم النتوءات السطحية للعينة ، مما يؤدي ذلك الى زيادة كثافة الانخلاعات مع زيادة هذا التشويه ، وبالتالي ينتج عن ذلك زيادة صلادة وهشاشة المادة تدريجياً ، إذ بسبب تجمع الانخلاعات تتكون الفجوات الصغيرة والتي تتجمع لتكون شقوقاً صغيرة في سطح المعدن . ان هذه الشقوق تتوسع تحت تأثير الاجهادات المسلطة على سطح عينة الاختبار وبتجاه المناطق الضعيفة متلاقية مع بعضها ومكونة بذلك شقوق كبيرة. ان النقاء هذه الشقوق مع بعضها او مع خطوط البلى يسبب ازالة وخلع طبقات رقيقة من المعدن ، حيث انها تزال بسهولة نحو اتجاه حركة الإنزلاق لتكون جسيمات ودقائق حطام البلى .

لقد تم دراسة السطوح الناتجة من اختبار البلى وعند أحمال مختلفة باستخدام المجهر الضوئي. تبين الأشكال (5 و 6) مسار الإنزلاق وأثار البلى المتكونة . ففي حالة الحمل القليل 5 نيوتن ، تكون الخطوط متقاربة وناعمة وغير عميقة كون دقائق الكرافيت مزيتات صلبة ويزداد عمق هذه الخطوط بزيادة الحمل المسلط .

ويلاحظ من الشكل (7) إن معدل البلى يقل مع زيادة سرعة الإنزلاق وذلك بسبب ان الحرارة المتسربة من سطح العينة عند السرعة الواطئة أكثر مما في حالة السرعة العالية ، وهذا يؤدي الى قلة ليونة النتوءات عند السرعة الواطئة وبالتالي حصول التحام جزئي بين نتوءات السطحين المنزلقين مما جعل القوة المطلوبة لقص نقاط الاتصال أكبر من قوة ترابط ذرات المعدن وبالتالي زيادة في معدل البلى بنقصان سرعة الإنزلاق . علاوة على ذلك فعند سرع الإنزلاق الواطئة ، يحدث اتصال معدني قوي والتحام بارد بسبب انتشار الذرات ما بين نتوءات السطوح النظيفة المتلامسة وإن حصول هذا الاتصال القوي يؤدي الى زيادة معدل البلى. الا انه نتيجة لزيادة وارتفاع درجة الحرارة السطحية للعينة بسبب زيادة سرعة الإنزلاق تتكون طبقة أوكسيدية على

6- اخذ قراءة مقياس الانفعال كل 30 ثانية.

7- ايقاف الجهاز بعد مرور 20 دقيقة من بداية التشغيل .

وبعد استخراج قوة الاحتكاك من منحني المعايرة (Calibration) curve والمبين بالشكل (2) تم حساب معامل الاحتكاك (coefficient of friction) بتطبيق المعادلة (1-4) كما تم دراسة التغير بدرجة الحرارة السطحية لكل من السبيكة الاساس والمادة المترابطة وذلك بتحضير عينات البلى الاسطوانية وعمل ثقب في اسفل العينة على بعد 2 ملم من نهاية العينة السفلى بقطر 1 ملم يصل الى مركز العينة ، وقد تم اتباع الخطوات التالية :-

- 1- تنعيم القرص بورق التنعيم 1000 قبل الاختبار ولكل مرة .
- 2- تنظيف القرص بالكحول .
- 3- تثبيت العينة في المكان المخصص لها وبصورة مستوية .
- 4- جعل الذراع مستوياً في حالة افقية بوساطة ميزان ذي فقاعة .
- 5- وضع الحمل (5,10,15)N عند سرعة الإنزلاق (3.7 m/sec).
- 6- ادخال سلك المزدوج الحراري (Thermo couple) الشعيري في الثقب الموجود في العينة وتثبيته بشريط لاصق لضمان عدم حركته عند اجراء الاختبار .
- 7- البدء بتشغيل الجهاز وضبط الوقت باستعمال ساعة توقيت .
- 8- اخذ قراءة المزدوج الحراري كل دقيقتين .
- 9- ايقاف الجهاز بعد مرور 20 دقيقة

النتائج والمناقشة

لقد تبين عند فحص البنية الدقيقة للسبيكة الاساس والمادة المترابطة انها تكون كما في الشكل (3) ، كما لوحظ من التجارب المختبرية بان معدل البلى لكل من السبيكة الاساس والمواد المترابطة يزداد مع زيادة الحمل المسلط بشكل عام كما موضح في

كما أظهرت النتائج المختبرية عند حساب معامل الاحتكاك للمادة المتراكبة المقواة بدقائق الكرافيت بان معامل الاحتكاك عند الاحمال العالية يكون أقل من معامل الاحتكاك عند الاحمال القليلة كما موضح في الشكل (13) ، ويعزى سبب ذلك الى انه عند استخدام الأحمال العالية تزداد المساحة الحقيقية للتلامس ما بين سطح العينة والقرص وذلك بسبب ازدياد التشويه للدن لرؤوس النتوءات السطحية بمرور زمن الانزلاق مما ينتج عن ذلك زيادة كثافة دقائق الكرافيت مكوناً بذلك طبقة من الكرافيت على سطح العينة ، هذه الطبقة تفصل ما بين السطحين المنزلقين ، إذ انها تعمل كمزيت صلب جيد تحت ظروف الإنزلاق الجاف مخفضاً بذلك معامل الإحتكاك [16] في حين يزداد معامل الاحتكاك للسبيكة الاساس بزيادة الحمل المسلط نتيجة لحصول زيادة في مساحة التلامس الحقيقية (Real Contact Area) ما بين سطحي عينة الأختبار والقرص وهذا بدوره يؤدي الى زيادة معامل الإحتكاك مع

زمن الإنزلاق كما في الأشكال (8,9,10,11,12) إلا أنه عند استمرار السطوح المتلامسة بالانزلاق على بعضها البعض وبعد مرور فترة زمنية تقدر تقريبا (150) ثانية ، يلاحظ أن معامل الإحتكاك يميل الى الاستقرار والوصول الى حالة الاستقرار (Steady State) حيث يعزى سبب ذلك الى تسطح نتوءات السطحين المتلامسين والمنزلقين شيئاً فشيئاً نتيجة لاستمرار عملية الإنزلاق ليؤول تأثير النتوءات بعد ذلك الى الثبوت نتيجة للحصول على سطح أملس نسبة النتوءات فيه تكون قليلة وبالتالي ينتج عن ذلك ثبوت معامل الإحتكاك مع زمن الإنزلاق علاوة على ذلك ان درجة تغطية السطوح الانزلاقية المحتكة بالكرافيت تزداد مع زيادة زمن الإنزلاق مما ينتج عن ذلك عدم تزايد معامل الإحتكاك مع استمرارية عملية الإنزلاق ، بل ميلانه الى الاستقرار مع زمن الإنزلاق وذلك لان دقائق الكرافيت تعمل كمزيت صلب (Solid Lubricant) وهي ألين من سبيكة البراص (الأرضية) وخلال عملية الانزلاق تبرز هذه الدقائق الكرافيتية الى خارج الارضية إذ تكسو الطبقة السطحية المحتكة (Tribosurface) ومع الزمن تزداد المساحة السطحية المكسوة بدقائق الكرافيت مما يؤدي الى

تقليل التماس المباشر بين معدن - معدن كما يحدث نتيجة لذلك انخفاض في قيمة اجهاد القص مؤدياً بذلك الى تقليل معامل الاحتكاك .

لقد وجد عند قياس التغير الحاصل بالدرجة الحرارية لسطح السبيكة الاساس والمادة المتراكبة بتغيير الحمل وتثبيت المتغيرات الأخرى ، انخفاض درجة حرارة سطح المادة المتراكبة بزيادة نسبة دقائق الكرافيت المضافة كون دقائق الكرافيت مزيتات صلبة تقلل مساحة تماس المعدن بالمعدن وبالتالي تقليل معامل الاحتكاك وبالنتيجة تقل درجة

سطح العينة تعمل على تقليل معدل البلى [16]

أما بالنسبة لمعامل الاحتكاك فعند انزلاق السطوح على بعضها البعض ترتفع درجة حرارة السطوح المنزلقة شيئاً فشيئاً مما يؤدي ذلك الى حصول تليين حراري (Thermal Softening) ومن ثم انسياب لدن (Plastic Flow) للنتوءات السطحية ، ينتج عنهما حصول زيادة في مساحة التلامس الحقيقية (Real Contact Area) ما بين سطحي عينة الأختبار والقرص وهذا بدوره يؤدي الى زيادة معامل الإحتكاك مع زمن الإنزلاق كما في الأشكال (8,9,10,11,12) إلا أنه عند استمرار السطوح المتلامسة بالانزلاق على بعضها البعض وبعد مرور فترة زمنية تقدر تقريبا (150) ثانية ، يلاحظ أن معامل الإحتكاك يميل الى الاستقرار والوصول الى حالة الاستقرار (Steady State) حيث يعزى سبب ذلك الى تسطح نتوءات السطحين المتلامسين والمنزلقين شيئاً فشيئاً نتيجة لاستمرار عملية الإنزلاق ليؤول تأثير النتوءات بعد ذلك الى الثبوت نتيجة للحصول على سطح أملس نسبة النتوءات فيه تكون قليلة وبالتالي ينتج عن ذلك ثبوت معامل الإحتكاك مع زمن الإنزلاق علاوة على ذلك ان درجة تغطية السطوح الانزلاقية المحتكة بالكرافيت تزداد مع زيادة زمن الإنزلاق مما ينتج عن ذلك عدم تزايد معامل الإحتكاك مع استمرارية عملية الإنزلاق ، بل ميلانه الى الاستقرار مع زمن الإنزلاق وذلك لان دقائق الكرافيت تعمل كمزيت صلب (Solid Lubricant) وهي ألين من سبيكة البراص (الأرضية) وخلال عملية الانزلاق تبرز هذه الدقائق الكرافيتية الى خارج الارضية إذ تكسو الطبقة السطحية المحتكة (Tribosurface) ومع الزمن تزداد المساحة السطحية المكسوة بدقائق الكرافيت مما يؤدي الى

- 4- في حالة المادة المترابطة المقواة بدقائق الكرافيت يكون معامل الاحتكاك اقل مقارنة بالسبيكة الاساس .
- 5- يتناسب معامل الاحتكاك عكسياً مع نسبة دقائق الكرافيت بزيادة الحمل المسلط .
- 6- ان درجة الحرارة السطحية خلال عملية الانزلاق للمادة المترابطة المقواة بدقائق الكرافيت بينت انخفاضاً ملحوظاً بالمقارنة مع السبيكة الاساس .

الحرارة^[17] مقارنة بالسبيكة الاساس كما موضحة بالشكل (15).

الاستنتاجات Conclusions

- 1- يتناسب معدل البلى طردياً مع الحمل المسلط اي انه يزداد بزيادة الحمل المسلط من 5N الى 15N.
- 2- يتناسب معدل البلى عكسياً مع سرعة الانزلاق اي انه يقل بزيادة سرعة الانزلاق من 2.7 m/sec الى 4.7 m/sec .
- 3- لقد تبين ان معامل احتكاك السبيكة الاساس يزداد بزيادة الحمل المسلط ويقل بزيادة سرعة الانزلاق.

Rate Consolidated Graphite / Copper Metal Matrix Composites in Chloride Media ", Applied Composite Materials 4, 1997, PP.305-320.

- [7-]Raghunath .B.K , Karthikeyan .R and Gupta .M , " An Investigation of Hot Deformation Response of Particulate – Reinforced Magnesium + 4.5% Titanium Composite ", Materials Research , Vol.9 , No. 2 , 2006 , PP.217-222 .
- [8-]Zhan .Y and Zhang .G," The Role of Graphite Particles in the High – Temperature Wear of Copper Hybrid Composites against Steel ", Materials and Design, Vol.27, 2006, PP.79-84.
- [9-]Wu .J.Y, Zhou .Y.C and Wang .J.Y," Tribological Behavior of Ti₂SnC Particulate Reinforced Copper Matrix Composites ", Materials Science and Engineering A, Vol.422, 2006, PP. 266-271.
- [10-]Zhang .R, Gao.L and Guo .J, "Effect of Cu₂O on the Fabricatin of SiC_p/ Cu Nanocomposites Using Coated Particles and Conventional Sintering ", Composites, Vol.35, Part A, 2004, PP.1301-1305.

المصادر

- [1-]Zhou .X and Xu .Z.M," Casting of SiC Reinforced Metal Matrix Composites ", Journal of Materials Processing Technology, Vol 63, 1997, PP.358-363.
- [2-]Zhan .Y and Zhang .G," The Effect of Interfacial Modifying on the Mechanical and Wear Properties of SiC_p/ Cu Composites ", Materials Letters, Vol 57, 2003, PP.4583-4591.
- [3-]Martínez .V, Ordoñez .S, Castro .F, Olivers .L and Marín .J, "Wetting of Silicon Carbide by Copper Alloys ", Journal of Materials Science, Vol.38, 2003, PP.4047-4054.
- [4-]Rohatgi .P," Cast Metal Matrix Composites: Past, Present and Future", University of Wisconsin, 2001, PP.1-25.
- [5-]Goller .G, Koty .D.P, Tewari .S.N, Singh .M and Tekin .A," Wear and Friction Behavior of Metal Impregnated Microporous Carbon Composites ", Metallurgical and Materials Transactions, 27A, 1996, PP.3727-3738.
- [6-]Orth .J.E and Wheat .H.G," Corrosion Behavior of High Energy – High

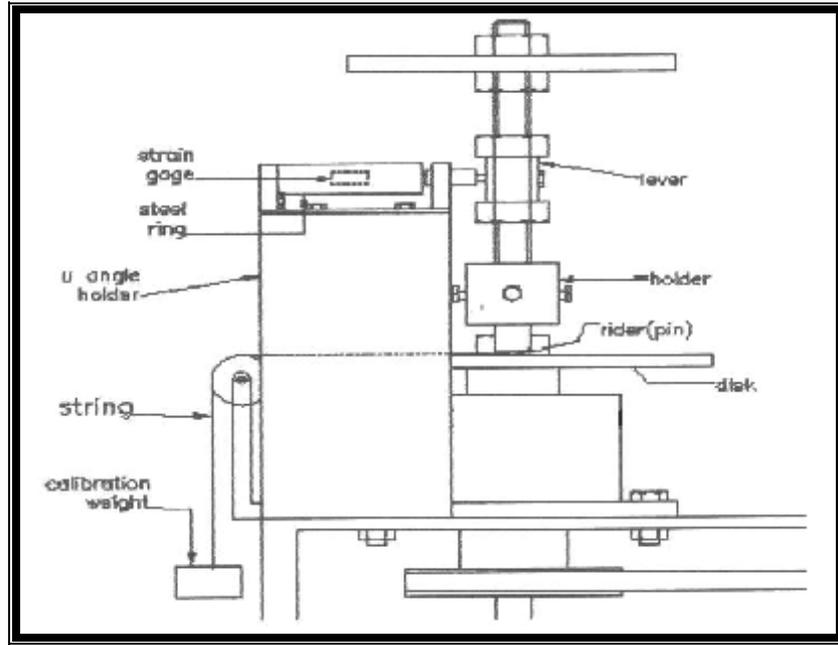
- graphite / alumina reinforced copper composites ", Journal of materials science , Vol. 35 , PP. 5967-5971 , 2000 .
- [15-] Ashby & Jones D.R.H., " Engineering Materials 1 ", An Introduction to their Properties and Applications 2nd Edition, 1998.
- [16-] Archard H.J.F., " The Temperature of Rubbing Surfaces ", Wear, Vol. 2, No.6, PP (438-455), 1959.
- [17-] Kestursatya M., Kim J.K. and Rohatgi P.K., " Friction and Wear Behavior of a Centrifugally Cast Lead – Free Copper Alloy Containing Graphite Particles ", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol.32A, PP.2115-2125, 2001.
- [11-] Kim .J.K , Kestursatya .M and Rohatgi .P.K , " Tribological Properties of Centrifugally Cast Copper Alloy – Graphite Particle Composite ", Metallurgical and Materials Transactions A , Vol. 31A, 2000 , PP.1283-1293 .
- [12-] Kestursatya M., Kim J.K. and Rohatgi P.K., " Wear Performance of Copper – Graphite Composite and a Leaded Copper Alloy ", Materials Science and Engineering A, Vol.339, PP.150-158, 2003
- [13-] Zhao H. , Liu L. , Wu Y. and Hu W. , " Investigation on Wear and Corrosion Behavior of Cu- Graphite Composites Prepared by Electroforming ", Composites Science and Technology , Vol. 67 , PP. 1210-1217 , 2007.
- [14-] Coupard D. , Goni J. , Silvain J.F. , " Fabrication and characterisation of

جدول (1) التحليل الكيماوي لسبيكة البراص ألفا

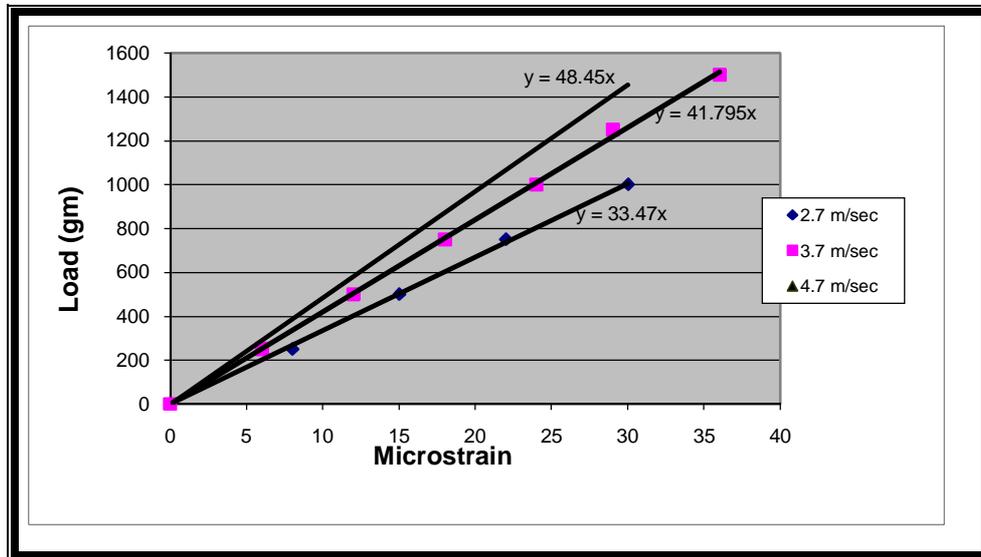
Element	Zn	Pb	Sn	Bi	Cu
Wt%	29.5	0.025	0.083	0.054	Rem

جدول (2) مكونات المحلول السيانيدي

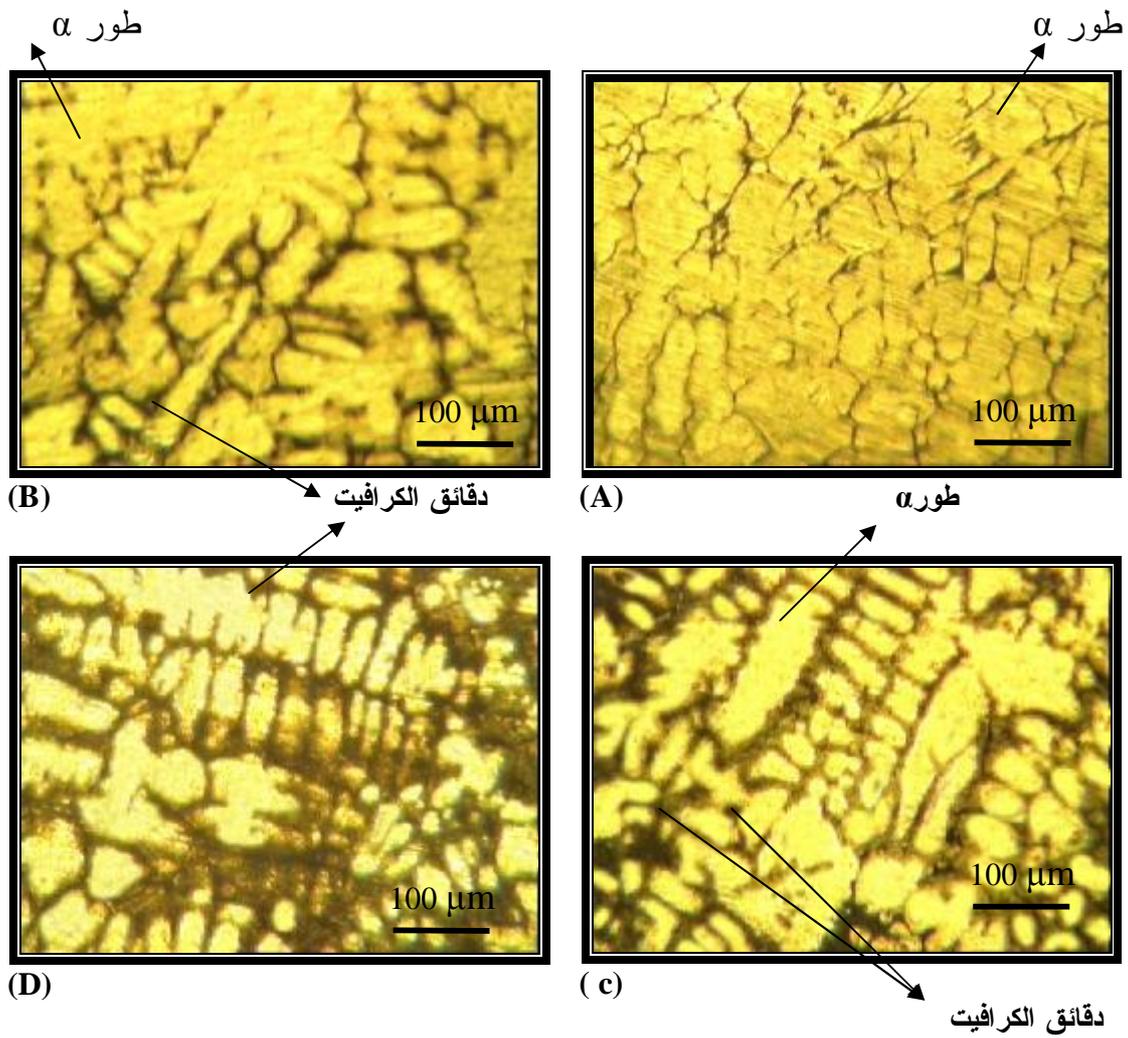
Copper Sulphate , Pentahydrate	13.8 gm/l
Sodium Potassium Tartrate , Tetrahydrate	69.2 gm/l
Sodium hydroxide	20 gm/l
Formaldehyde	40 ml
2 Mercaptobenzothiazole	0.003 %



شكل (1) رسم تخطيطي لمقياس الانفعال



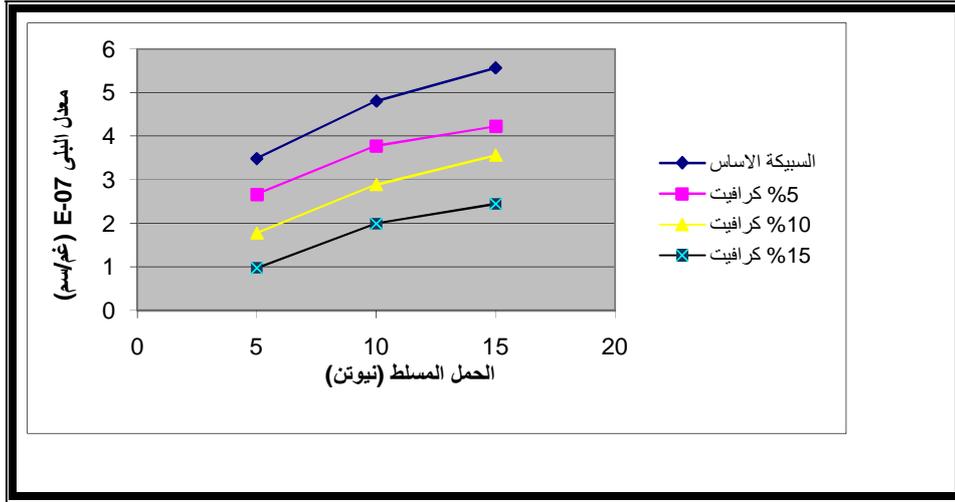
شكل (2) منحنى المعايرة بين الحمل المسلط والانفعال الدقيق لسرع الانزلاق 2.7 م/ثا ، 3.7 م/ثا ، 4.7 م/ثا.



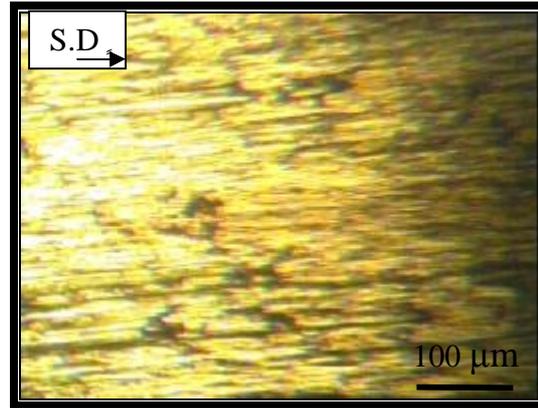
شكل (3) البنية الدقيقة للسبيكة الاساس والمادة المتراكبة المقواة بدقائق الكرافيت وبالنسب المئوية الوزنية الآتية :-

(B) 5% كرافيت
(D) 15% كرافيت

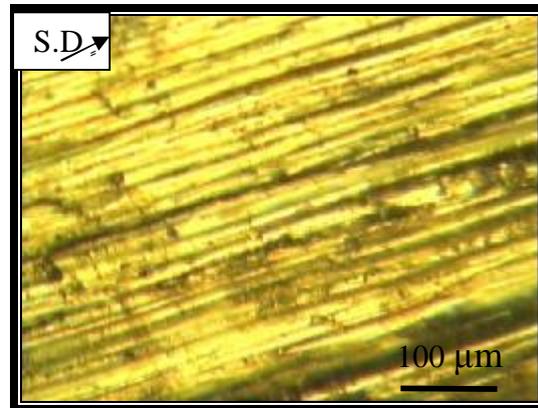
(A) السبيكة الاساس
(C) 10% كرافيت



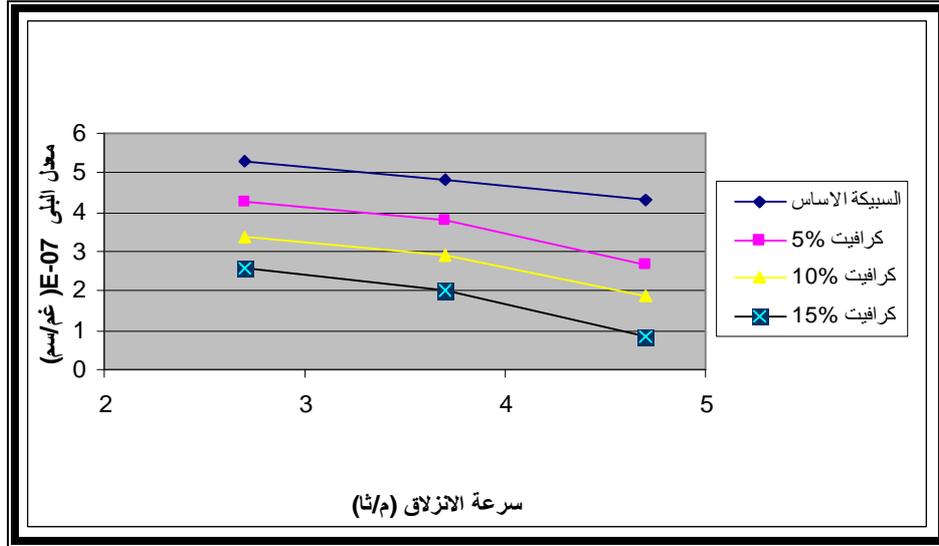
شكل (4) تأثير الحمل المسلط على معدل بلى السبيكة الاساس والمواد المترابطة المقواة بدقائق الكرافيت عند سرعة الانزلاق 3.7 م/ثا.



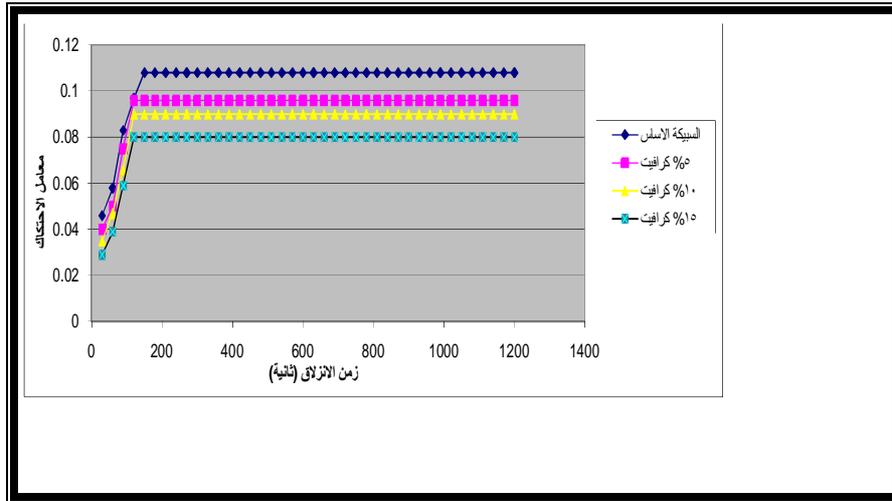
شكل (5) مسار الانزلاق للمادة المترابطة المقواة بدقائق الكرافيت تحت تأثير الحمل 5 نيوتن وسرعة الانزلاق 3.7 م/ثا



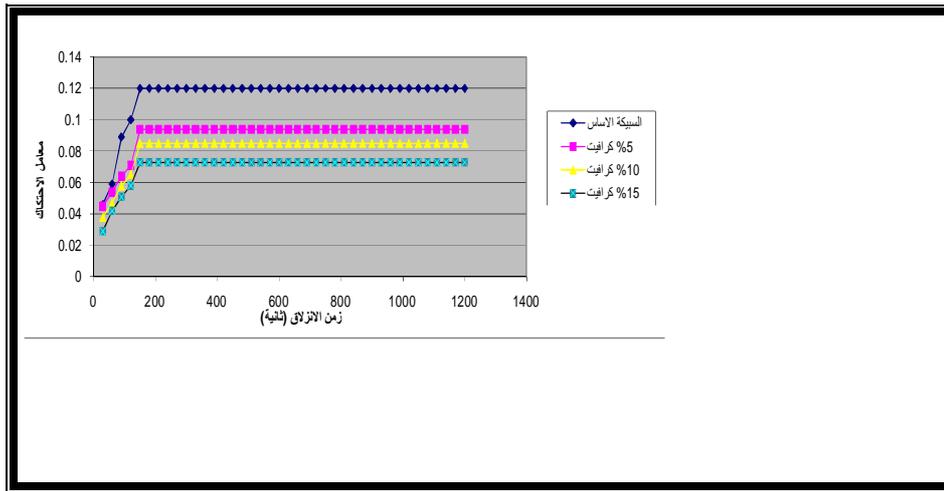
شكل (6) مسار الانزلاق للمادة المترابطة المقواة بدقائق الكرافيت تحت تأثير الحمل 15 نيوتن وسرعة الانزلاق 3.7 م/ثا



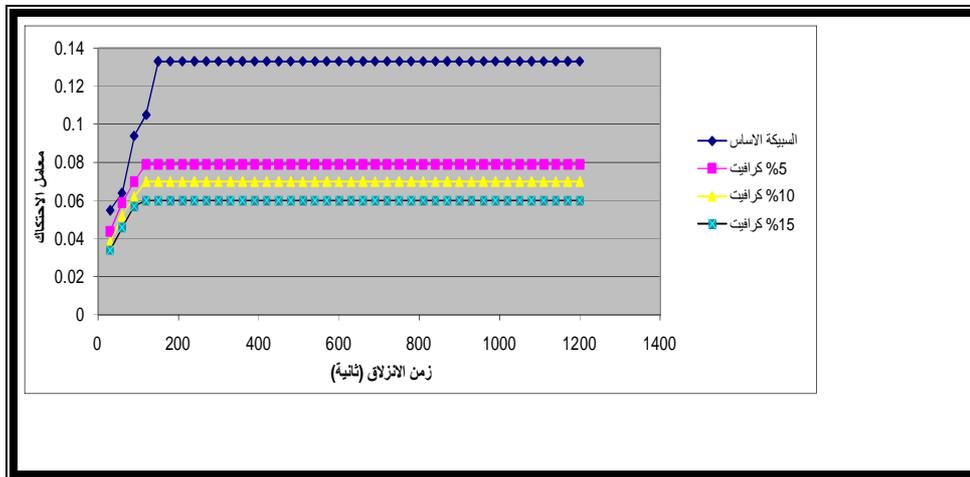
شكل (7) تأثير سرعة الانزلاق على معدل بلى السبيكة الاساس والمواد المترابطة المقواة بدقائق الكرافيت تحت تأثير الحمل المسلط 10 نيوتن.



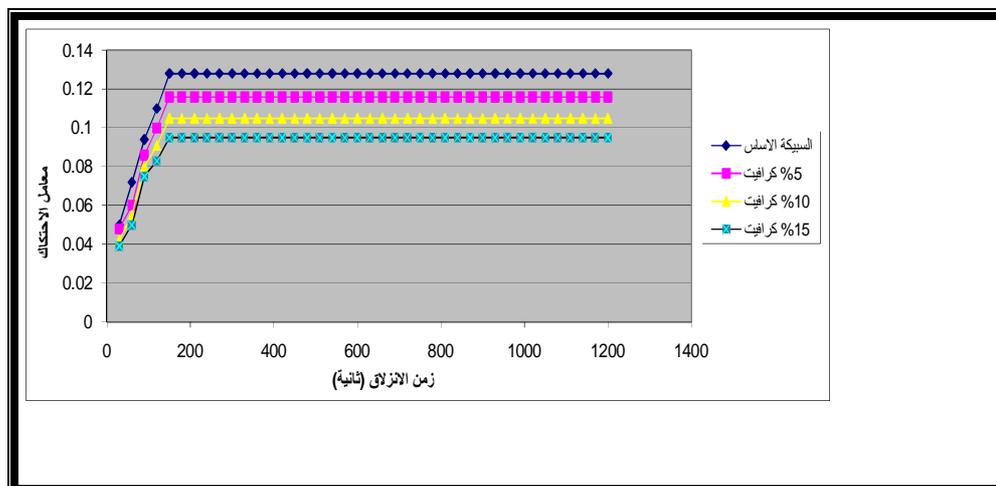
شكل (8) العلاقة بين معامل الاحتكاك وزمن الانزلاق ، الحمل 5 نيوتن ، سرعة الانزلاق 3.7 م/ثا للسبيكة الاساس والمواد المترابطة المقواة بدقائق الكرافيت.



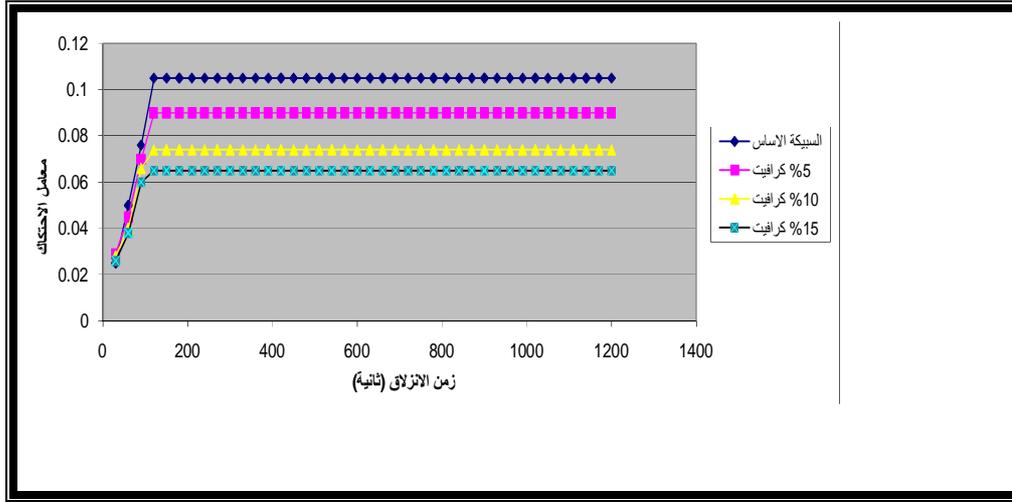
شكل (9) العلاقة بين معامل الاحتكاك وزمن الانزلاق، الحمل 10 نيوتن ، سرعة الانزلاق 3.7 م/ثا للسبيكة الأساس والمواد المترابطة المقواة بدقائق الكرافيت



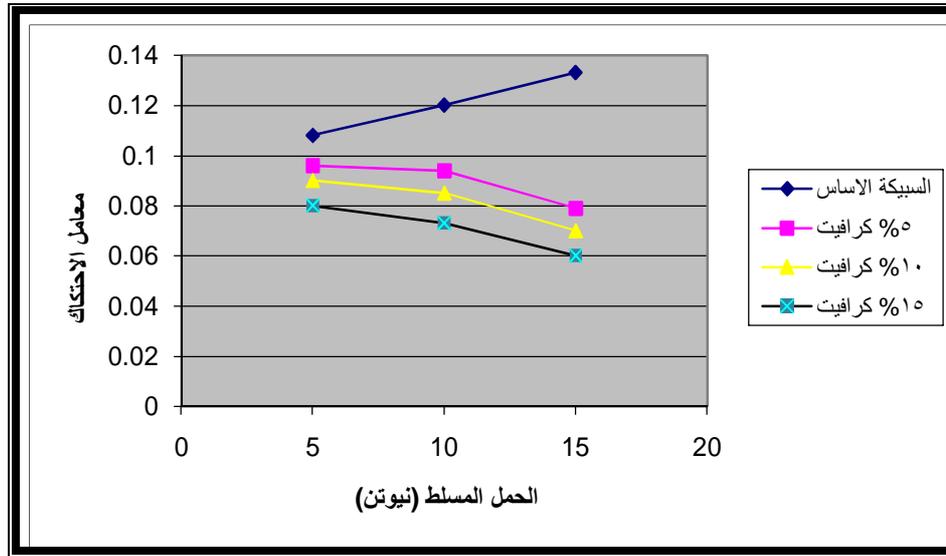
شكل (10) العلاقة بين معامل الاحتكاك وزمن الانزلاق ، الحمل 15 نيوتن ، سرعة الانزلاق 3.7 م/ثا للسبيكة الأساس والمواد المترابطة المقواة بدقائق الكرافيت



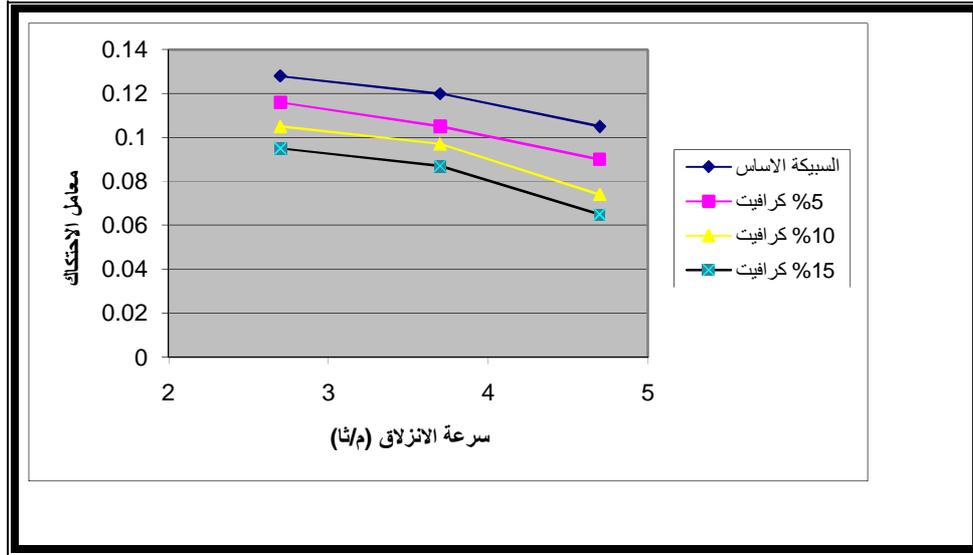
شكل (11) العلاقة بين معامل الاحتكاك وزمن الانزلاق ، الحمل 10 نيوتن، سرعة الانزلاق 2.7 م/ثا للسبيكة الأساس والمواد المترابطة المقواة بدقائق الكرافيت



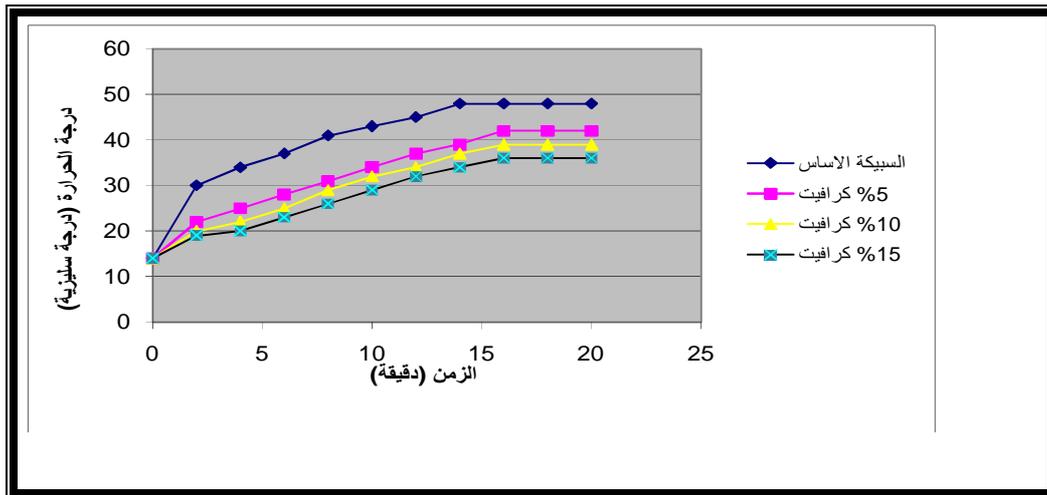
شكل (12) العلاقة بين معامل الاحتكاك وزمن الانزلاق ، الحمل 10 نيوتن ، سرعة الانزلاق 4.7 م/ثا للسبيكة الأساس والمواد المترابطة المقواة بدقائق الكرافيت



شكل (13) تأثير الحمل المسلط على معامل الاحتكاك للسبيكة الاساس والمادة المترابطة المقواة بدقائق الكرافيت



شكل (14) تأثير سرعة الانزلاق على معامل الاحتكاك للسبيكة الاساس والمواد المترابطة لمقواة بدقائق الكرافيت



شكل (15) درجة الحرارة السطحية للسبيكة الاساس والمواد المترابطة المقواة بدقائق الكرافيت تحت تأثير الحمل 5 نيوتن ، وسرعة الانزلاق 3.7 م/ثا