

## Influence of Microstructure on Abrasive Wear Resistance of Al-12 wt% Si Alloy

Eman Adnan Anon

Production Engineering and Metallurgy Department, University of Technology/Baghdad

Email: eman\_adnan2004

Received on: 16/11/2011 & Accepted on: 1/3/2012

### ABSTRACT

Abrasive wear of as-cast Al-12 wt% Si alloy has been slid against SiC emery papers (grits 120 and 220). The wear rate and wear mechanism as a function of bearing pressure have been studied. The wear rate increased considerably with increasing the size of abrasive material. Detailed analysis of worn surface showed the formation of scratches and removal of debris particles by mechanism depended highly on bearing pressure and to less extent on emery paper. Increasing the bearing pressure resulted in the formation of debris without plastic deformation of the subsurface.

**Keywords:** Abrasive wear; Al-12 wt% Si; Worn surface; Subsurface damage

### تأثير البنية المجهرية على مقاومة البلى الحكي لسبيكة الالمنيوم-12% سليكون

#### الخلاصة

تم استخدام سبيكة الالمنيوم-12% سليكون في حالة الصب لاختبار البلى الحكي على اوراق من كاربيد السليكون نوع 120 و 220. تم دراسة معدل البلى والية البلى كدالة لضغط التحميل. يزداد معدل البلى بصورة ملحوظة مع زيادة حجم الدقائق الحاكة. الفحص الدقيق للسطح المتأثر بالبلى اوضح حصول خدوش وازالة الحطام بالية تعتمد على مقدار ضغط التحميل وتتاثر بصورة اقل بنوع ورق التجليغ. ادى زيادة ضغط التحميل الى حصول البلى بدون اى تشكيل للمنطقة التحتية.

#### المقدمة

يعتبر الالمنيوم والسليكون من اهم العناصر المعدنية المستخدمة في الصناعة للحصول على العديد من المواد الهندسية للعديد من التطبيقات التكنولوجية. وبنفس الوقت تعتبر سبائك الالمنيوم مع السليكون من السبائك الواسعة الاستخدام وعند نسب سليكون مختلفة. وتمتاز هذه السبائك بالعديد من الخصائص واهمها قابليتها العالية للسباكة ومقاومتها النوعية العالية ومقاومتها العالية للبلى بمختلف انواعه ومقاومتها العالية للتآكل الكيماوى وبنفس الوقت تمتاز بخواص ميكانيكية مقبولة [1-4]. تعتمد صناعة السيارات بصورة كبيرة على تطوير سبائك الالمنيوم المقاومة للبلان وبالاخص سبائك الالمنيوم-سليكون. حيث تودى الى تقليل الوزن وزيادة الاداء [5,6]. ان مقاومة البلى العالية لسبائك الالمنيوم

تأتي بالدرجة الأساسية من وجود طور السليكون والذي يتواجد بأشكال مختلفة وبالاعتماد على نسبة السليكون وطريقة التصنيع ونسبة ونوعية العناصر المعدلة والمنعمة المستخدمة [7,8]. تحتاج أنظمة الالمنيوم-سليكون إلى التصميم الدقيق بالاختيار المناسب لنسبة السليكون للحصول على موازنة دقيقة بين مقاومة البلى والخواص الميكانيكية [9].

تحتاج فهم آلية البلى إلى الفهم الدقيق للعوامل المؤثرة والتي لها دور كبير بالسيطرة على تصرف انتقال المواد بالأسطح المتأثرة بالبلى نتيجة للتأثير الميكانيكي والكيميائي والفيزيائي [10]. لهذا فإن البلى بمختلف أنواعه ليست خاصية للمادة الهندسية لوحدها بل إنها تتأثر أيضاً بالعوامل المؤثرة على النظام. وتؤخذ ظاهرة البلى الدور الأكبر صناعياً وبحثياً لفهمها لما لها من أهمية كبيرة بالفقدان للطاقة الناتج من الإزالة المستمرة للمادة من الأسطح نتيجة للحركة النسبية. لهذا للسيطرة على هذا الفقدان فإنه توجد حاجة ماسة للسيطرة على البلى من خلال معرفة الآلية التي تحدث فيها الإزالة [11] وبالنتيجة السيطرة والتحكم بكمية المادة المزالة والحد من الفشل السريع للأجزاء الهندسية.

أدت الأهمية الكبيرة لأنظمة الالمنيوم-سليكون كسبائك مقاومة للبليلان خلال السنوات العديدة الماضية لإحلالها بدل حديد الزهر إلى العديد من الدراسات والبحوث [12-15]. أن هذه السبائك تستخدم لمقاومة البلى بمختلف أنواعه وبالأخص البلى التلاصقي والحكي وتحت تأثير الحركة النسبية الجافة والمزيتية [16-19]. هنالك العديد من البحوث الخاصة بالبلى الالتصاقى مقارنة مع العدد القليل من البحوث الخاصة بالبلى الحكي. حيث من المعروف أن آلية البلى الالتصاقى لسبائك الالمنيوم-سليكون الثنائية والمركبة بمواد هندسية مختلفة تتم من خلال التكسر المستمر لطور السليكون الهش بالمنطقة التحتية (subsurface) نتيجة للحركة النسبية بين الأسطح وتأثير الاجهاد. حيث يتكسر السليكون إلى حجم محدد بحدود 3 مايكرون ويزال على هيئة حطام (debris) [20]. أن معدل البلى الالتصاقى يعتمد على آلية الإزالة أما أن تكون أوكسيدية وبمعدل بلى لا يتجاوز  $10^{-7}$  سم<sup>3</sup>/سم<sup>2</sup> نتيجة تكون طبقة من الأوكسيد أولاً ومن ثم تكسرها [21]. أما عندما يكون معدل البلى أكبر من  $10^{-6}$  سم<sup>3</sup>/سم<sup>2</sup> فإن آلية الإزالة تتم بإزالة حطام بحجم كبير وفي أغلبه هو الالمنيوم-سليكون وبدون الأوكسيد وبالأخص عند قيم الاجهاد المسلط العالى [22]. يعرف البلى الحكي بأنه عملية الإزالة للمادة الهندسية من السطح من خلال تأثير اجسام ذات صلادة عالية ثابتة أو سائبة من خلال تكوين ما خدوش نحيفة أو التغلغل بعمق أكبر وإزالة المادة. أن آلية البلى الحكي تتم بحصول عمليات قطع ماكرووية وإزالة المادة الهندسية. وايضاً ممكن أن تتم بصورة أوكسيدية أو معدنية وبالاعتماد على متغيرات البلى الحكي المختلفة [23].

بالرغم من وجود العديد من الدراسات لوصف آلية البلى الالتصاقى من خلال فحص الحطام الناتج والمنطقة المتأثرة بالبلى (worn surface) والمنطقة التحتية فإنه لازال هنالك حاجة كبيرة لفهم آلية الحطام فى البلى الحكى. يهدف هذا البحث إلى تحديد الآلية التي تتم بها إزالة الحطام من سبيكة الأيونتكتيك المنيوم-سليكون عند الاجهادات المسطحة المختلفة واحجام الدقائق الحاكة المختلفة من خلال فحص المنطقة المتأثرة بالبلى والمنطقة التحتية.

### الجزء العملى

لقد تم استخدام سبيكة من الالمنيوم-سليكون ذات محتوى سليكون 12% والتي تم الحصول عليها بواسطة عملية الصهر لسبيكة اساس من الالمنيوم-سليكون. بعد عملية الصهر والتجمد باستخدام قالب معدنى تم الحصول على قضبان من الالمنيوم-12% سليكون بقطر 10 ملم وبارتفاع بحدود 20 ملم. تم تحضير السطح المعرض للبلى بواسطة التجليغ وباستخدام ورق تجليغ نوع 800 paper emery للحصول على سطح منتظم وكامل التماس مع ورق كاربيد السليكون عند اختبار البلى الحكى. تم اجراء اختبار البلى الحكى باستخدام اوراق كاربيد السليكون وبحجمين مختلفين هي 120 و 220. وكانت قيم الصلادة للسبيكة المستخدمة هي 62 فيكرز.

تم اجراء الاختبار باستخدام جهاز المسمار على القرص وتم من خلال وضع ورق كاربيد السليكون على سطح القرص وبعد تثبيت المسمار فى الحامل والذى يكون بتماس مع ورق كاربيد السليكون بسلط الحمل المطلوب على المسمار. لقد وجد ان فترة 15 ثانية تكون كافية للحصول على حالة الاستقرار للحصول على مقدار الوزن المفقود ومنه خلاله تم تحديد معدل البلى (سم<sup>3</sup>/سم). ان المتغيرات التى تم استخدامها موضحة بالجدول 1. تم حساب معدل البلى من خلال المعادلة:

$$W_f = \Delta W / 2\pi r d n t \quad ..(1)$$

حيث:

$\Delta W$  الوزن المفقود (غم)

$\rho$  كثافة السبيكة (2.62 غم/سم<sup>3</sup>)

$d$  قطر دوران المسمار (سم)

$n$  سرعة دوران القرص (دورة/دقيقة)

$t$  زمن الاختبار (دقيقة)

لقد تم فحص الاسطح المعرضه للبلى الحكى باستخدام المجهر الضوئى وبدون اى تحضير ميتالورجى. تم كذلك اجراء الفحص المجهرى للمنطقة التحتية وعند زاوية ميلان مقدارها 5 درجات باستخدام الخطوات التقليدية لتحضير النماذج ومن ثم الاظهار باستخدام محلول من الماء و 1% من حامض الهيروفلوريك.

#### النتائج والمناقشة

يوضح الشكل 1 البنية المجهرية للسبيكة المستخدمة وهى عبارة عن ايونكتيك من الالمنيوم والسليكون وضمن المدى القريب من الايونكتيك وبنسبة سليكون 12%. كذلك يلاحظ وجود بعض الاطوار الوسطية للالمنيوم والحديد. التغير فى معدل البلى الحكى مع الضغط المسلط موضحة بالشكل 2 ومنه يلاحظ بزيادة الضغط المسلط وزيادة حجم حبيبات كاربيد السليكون يزداد معدل البلى بصورة كبيرة وبمعدل ثابت. ان تكوين منطقتين بصورة مستقيمة يوضح ان الية البلى تختلف بين البلى المتوسط او الاوكسيدى عند الحمل القليل والبلى المعدنى عند الحمل العالى. التغير فى مقدار الميلان يدل على حصول اليتين مختلفتين وكما تم التاكيد منه ايضا من فحص المناطق المتأثرة بالبلى وفحص اسطح اوراق كاربيد السليكون بصورة دقيقة. حيث يتراوح البلى بين منطقة البلى المعدنى المتوسط عند مقدار الضغط 0.063 ميكاباسكال. حيث تم ملاحظة تكون مناطق براقه قليلة على ورق كاربيد السليكون والنتيجة من ازالة بعض الدقائق المعدنية ومناطق غامقة بسبب تكوين الاوكسيد قبل ازالة الحطام (شكل 3). الفحص المجهرى الدقيق لكلا من المنطقة التحتية وسطح المسمار المتأثر بالبلى اوضح وجود بعض التشكيل اللدن عند الاحمال القليلة وان عملية الازالة تتم بالتشكيل و بعملية القطع الماكروى وذلك من خلال وجود التشوه باتجاه حركة القرص وتكسر دقائق السليكون. ان وجود بعض المناطق الدقيقة فى السطح والتى اوضحت وجود التشكيل اللدن تعزى بالدرجة الاساس الى التشكيل الناتج فى هذه المنطق بسبب الدقائق المزالة من المسمار والتى ادت الى حصول تشكيل موضعى بين دقائق الالمنيوم-سليكون المزالة وسطح المسمار وكذلك حصول البلى الالتصاقى والذى يودى الى حصول التشكيل اللدن قبل ازالة الحطام [20].

اوضح زيادة الضغط عند 0.126 ميكاباسكال تكون مناطق براقه كاملة وبصورة كبيرة على كلا من المسمار وكذلك اوراق كاربيد السليكون وذلك لازالة حطام معدنى وبدون اوكسيد (شكل 4). تعزى هذه الزيادة فى المناطق المعدنية على الاسطح المتأثرة بالبلى الى زيادة حجم الدقائق المزالة بسبب ان الضغط المسلط يودى الى زيادة مساحة التلامس الحقيقية وبالنتيجة زيادة معدل المزالة من السطح. يلاحظ عند الضغط المسلط 0.189 ميكاباسكال ان الية ازالة الحطام الناتجة من عملية الخدش

تتم بدون اى تشويه لدن للمنطقة التحتية وذلك بسبب حصول الية البلى الحكى وبدون اى ازالة بواسطة البلى الالتصاقى. حيث تتم الازالة بدون اى تكسر لطور السليكون بالمنطقة التحتية بسبب غياب البلى الالتصاقى . الفحص الدقيق للاسطح المتأثرة بالبلى اوضحت وجود شقوق ماكروبية بصورة كبيرة (شكل 5). لكن بنفس الوقت الفحص المجهرى اوضح وجود كذلك فجوات يزداد حجمها بزيادة الضغط المسلط والتي بالنتيجة تودى الى زيادة معدل البلى بصورة كبيرة. يعزى هذا التصرف الى زيادة تركيز الاجهاد فى بعض مناطق السطح المتلامسة مع دقائق كاربيد السليكون والتي تودى الى حصول التمزق بسهولة فى هذه المناطق وبالنتيجة تكوين الحطام. ان كمية الحطام تزداد مع زيادة الاجهاد المسلط والتي تودى الى النقصان الواضح فى متانة الكسر فى المنطقة السطحية ومن ثم سهولة تكون الشقوق بغض النظر عن حجم دقائق كاربيد السليكون المستخدمة.

الفحص المجهرى عند قوى التكبير العالية اوضح لحجم كاربيد السليكون دور كبير فى حصول زيادة فى كمية ازالة حجم دقائق الحطام. حيث بزيادة حجم دقائق كاربيد السليكون تكون الازالة بواسطة القطع بصورة مباشرة وبدون اى تشكيل (شكل 6). من ذلك يستنتج بان لحجم الدقائق دور كبير بتحديد معدل البلى والية البلى والتي تتاثر بصورة اكبر بالضغط المسلط. هذه الظاهرة تم استنتاجها ايضا من قبل [24] Sin et al. حيث وجد بهذا البحث انه بزيادة النسبة بين متوسط قطر دقائق كاربيد السليكون/عمق الخدش الى اكبر من 1 فان الية البلى تكون ضمن البلى الاوكسيدي او الاوكسيدي-المعدنى.

#### الاستنتاجات

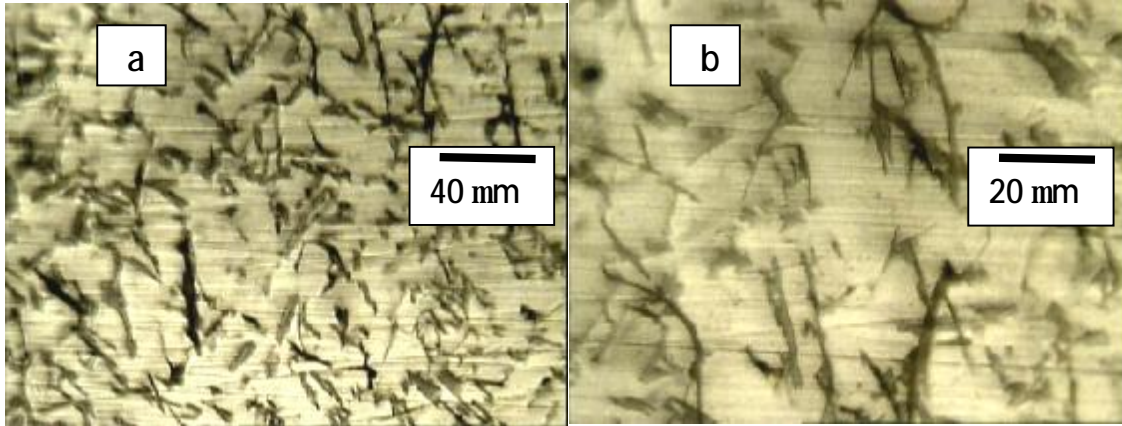
- 1- تكون الية ازالة الحطام لسبيكة الالمنيوم-12% سليكون عند ضغط تحميل اقل من 0.126 ميكاباسكال مزيج من البلى الاوكسيدي والمعدنى والتي تحصل بسبب حصول البلى الالتصاقى المصاحب للبلى الحكى.
- 2- زيادة ضغط التحميل الى اكبر من 0.126 ميكاباسكال ادى الى ازالة الحطام بصورة كاملة بواسطة البلى المعدنى وبسبب الية البلى الحكى بصورة كاملة.
- 3- تتم الازالة للحطام عند ضغط التحميل الواطى بواسطة التشكيل والقطع الماكروى وان التشكيل يكون لعمق محدد.
- 4- تتم الازالة للحطام عند ضغط التحميل العالى بواسطة القطع بصورة كاملة وبدون اى تشكيل بالطبقة التحتية وان عمق الخدش يزداد مع زيادة ضغط التحميل.

#### المصادر

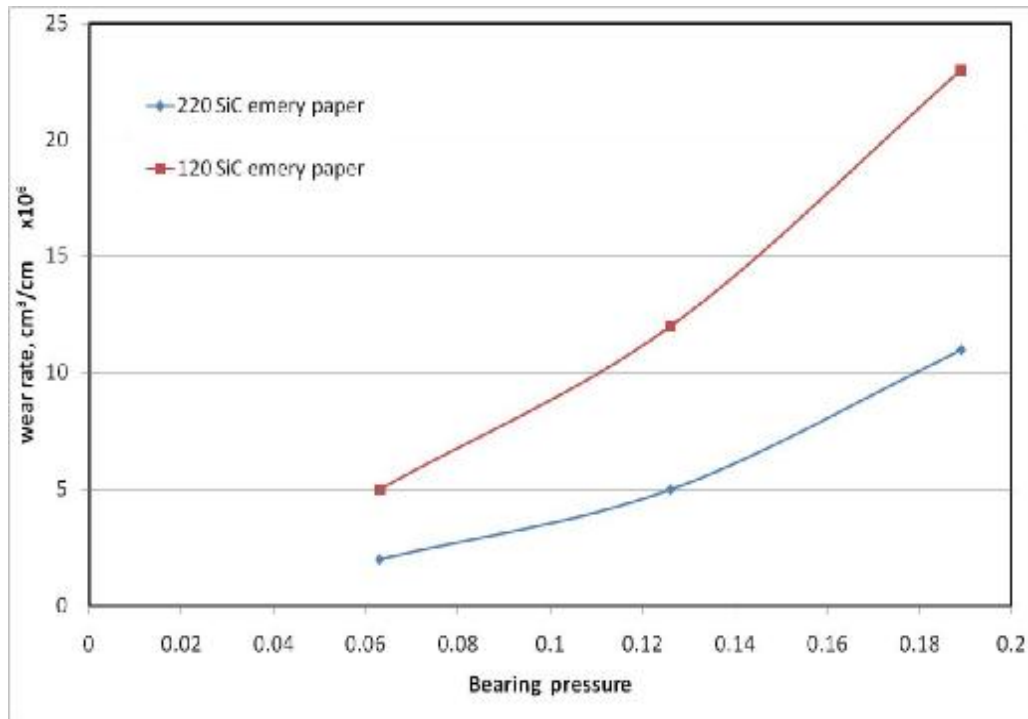
- [1] Das, V.V. and C.P. Mohanty, BSc Thesis, Tribological studies on aluminum alloys, Department of Metallurgical and Materials Engineering, National Institute of Technology, Rourkela, 2011.
- [2] Kori, S.A. and T.M. Chandrashekharaiah, Studies on the dry sliding wear behavior of hypoeutectic and eutectic Al-Si alloys, *Wear*, 263(2007)745-755
- [3] Goto, H. and K. Uchijo, Wear mechanism of Al-Si alloys impregnated graphite composite under dry sliding, *Wear*, 259(2005)613-619.
- [4] Mohammed Jasim, K. and E.S. Dwarakadasa, Effect of sliding speed on adhesive wear of binary Al-Si alloys, *J of Materials Science Letters*, 12(1993)650-635.
- [5] Weiss, D. in: State-of-the-art in cast MMC's in the next millennium, ed. P. Rohatgi, (TMS, Warrendale, PA 2001) p. 245.

- [6] Hunt, W.H. Jr., D.M. Schuster, M.D. Skibo, M.T. Smith, and D.R. Herling, in: State of the-art in cast MMC's in the next millennium, ed. P. Rohatgi (TMS, Warrendale, PA 2001) p. 265.
- [7] Liao, H.C. W.R. Huang and M.D. Cai, Eutectic growth in Sr modified Al-13%Si alloy under unidirectional solidification, *International Journal of Cast Metals Research*, 24(2011)102-107.
- [8] An overview of the development, H. Ye, of Al-Si alloy based material for engine applications, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 288(2003)288-297.
- [9] ASM: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, *ASM Handbook*, Vol. 2, ASM International, Materials Park, OH, 1990.
- [10] Elmadagli, M. T. Perry and A.T. Alpas, A parametric study of the relationship between microstructure and wear resistance of Al-Si alloys, *Wear*, 262(2007)79-92.
- [11] Deuis, R. L. C. Subramanian and J. M. Yellupb, Dry sliding wear of Aluminium composites-A review, *Composites Science and Technology* 57 (1977) 415-435.
- [12] Garcia-Cordovilla, C. J. Narciso and E. Louis, Abrasive wear resistance of aluminium alloy /ceramic particulate composites, *Wear*, 192(1994)170-177.
- [13] Elleucha, K. and S. Fouvry, Experimental and modeling aspects of abrasive wear of a A357 aluminium alloy under gross slip fretting conditions, *Wear*, 258(2005)40-49.
- [14] Kori, S.A. and M.S. Prabhudev, Sliding wear characteristics of Al-7Si-0.3Mg alloy with minor additions of copper at elevated temperature, *Wear*, 271(2011)680-6888.
- [15] Chen, M. and A.T. Alpas, Ultra-mild wear of a hypereutectic Al-18 wt% Si alloys, *Wear*, 265(2008)186-195.
- [16] Das, S. D.P. Mondal, S. Sawla and N. Ramakrishnan, Synergic effect of reinforcement and heat treatment on the two body abrasive wear of an Al-Si alloy under varying loads and abrasive sizes, *Wear*, 264(2008)47-59.
- [17] Dey, S.K. M.J. Lukitsch, M.P. Balogh, X. Meng-Burany and A.T. Alpas, Ultra-mild wear mechanisms of Al-12.6 wt.% Si alloys at elevated temperature, *Wear*, 271(2011)1842-1853.
- [18] Ahlatci, H. E. Candan and H. Çimenoglu, Abrasive wear behavior and mechanical properties of Al-Si/SiC composites, *Wear*, 257(2007)625-632.
- [19] Yang, C.L. Xu, Y.F. H.Y. Wang and Q.C. Jiang, Effect of modification and heat treatment on the abrasive wear behavior of hypereutectic Al-Si alloys, *J Materials Science*, 42(2007)6331-6338.
- [20] Mohammed Jasim, K. Nature of Subsurface damage in Al-22%Si alloys sliding on steels discs at high speeds, *J. Wear International*, 98(1984)183-197.
- [21] Antoniou, R. and D.W. Borland, Mild wear of Al-Si binary alloys during unlubricated sliding, *Wear*, 93(1987)57-72.
- [22] Rohatgi, P.K. and R.Q. Guo, Mechanism of abrasive wear of Al-Si hypoeutectic alloy containing 5 vol% fly ash, *Tribology Letters* 3 (1997)339-347.
- [23] Surappa, M.K. S.V. Prasad and P.K. Rohatgi, Wear and abrasion of cast Al-alumina particle composites, *Wear*, (1982) 295-302.

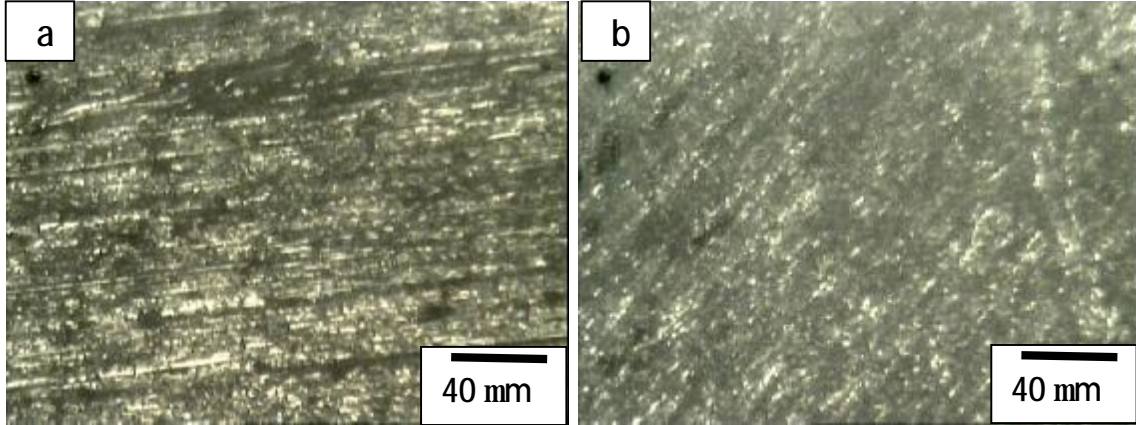
[24] Sin, H. N. Saka and N.P. Suh, Abrasive wear mechanisms and the grit size effect, Wear, 55(1979)163-190.



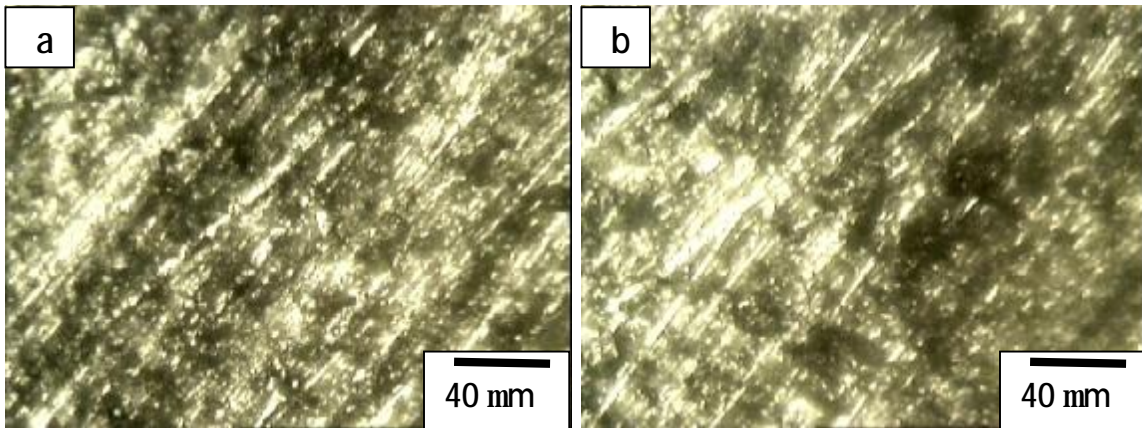
شكل (1) البنية المجهرية لسبيكة الالمنيوم-12% سليكون.



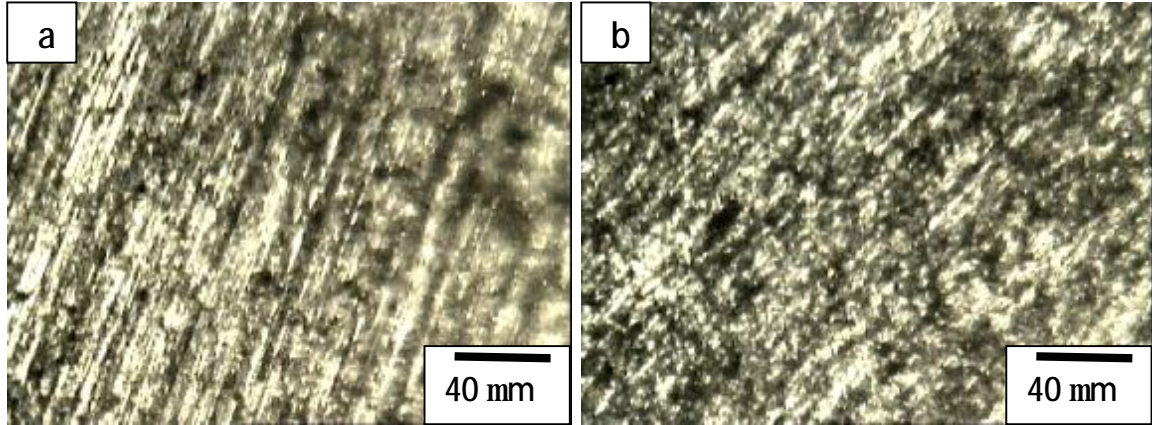
شكل (2) معدل البلى الحكي مع الضغط المسلط عند خشونة مختلفة من كاربيد السليكون



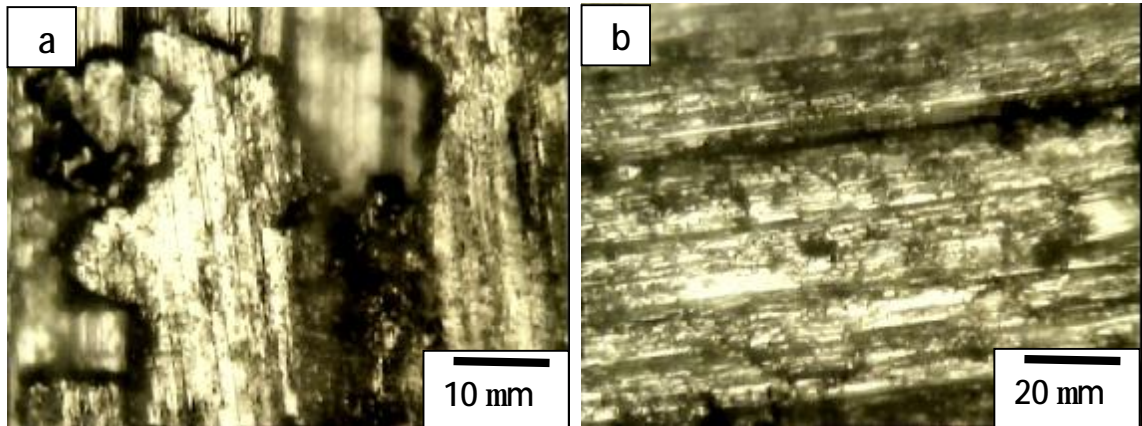
شكل (3) السطح المتأثر بالبلى عند ضغط 0.063 ميكاباسكال يوضح وجود منطقتي إزالة معدنية بسبب آلية الإزالة المعدنية عند أحجام أوراق كربيد سليكون مختلفة (a) 220 و (b) 120.



شكل (4) السطح المتأثر بالبلى عند ضغط 0.126 ميكاباسكال يوضح وجود منطقتي إزالة معدنية بسبب آلية الإزالة المعدنية عند أحجام أوراق كربيد سليكون مختلفة (a) 220 و (b) 120.



شكل (5) السطح المتأثر بالبلى عند ضغط 0.189 ميكاباسكال يوضح وجود منطقتين مختلفتين في إزالة معدنية بسبب البلى عند أحجام أوراق كربيد سليكون مختلفة (a) 220 و (b) 120 .



شكل (6) السطح المتأثر بالبلى عند ضغط 0.189 ميكاباسكال يوضح وجود مناطق الشقوق والإزالة للحطام من السطح على هيئة حطام معدني بسبب البلى عند أحجام أوراق كربيد سليكون مختلفة (a) 220 و (b) 120 .