

## البنية المجهرية ومعدل البلى للمواد المترابطة ذات اساس من سبيكة الالمنيوم – سليكون والمقواة بدقائق الايتريا

د. اسامة سلطان محمد\*

تاريخ التسلم: 14/ 3/ 2010

تاريخ القبول: 3/ 6/ 2010

### الخلاصة

تم في هذا البحث تحضير مواد مترابطة ذات اساس من سبيكة المنيوم - سليكون ما بعد الايونكتك ومقواة بكسور حجمية مختلفة هي ( 2% ; 4% ; 6% ; 8% ) من دقائق الايتريا ( $Y_2O_3$ ) وبحجم حبيبي ما بين ( 50 - 75  $\mu m$ ). المواد المترابطة حضرت بطريقة الدوامه، حيث تم اضافة الدقائق الى المنصهر ثم الخلط بواسطة خلاط ميكانيكي لعمل الدوامه ثم صب المادة في قوالب معدنية اسطوانية . ثم بعد ذلك اجراء الفحص المجهرى واختبارات الصلادة بطريقة فيكرز ومعدل البلى. اظهرت النتائج وجود دقائق التقوية بنسب مختلفة في البنية المجهرية وزيادة في الصلادة للمواد المترابطة مقارنة بالسبيكة غير المقواة. كذلك اظهرت النتائج توزيع احسن للدقائق وصلادة اعلى مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق الايتريا. اما معدل البلى فانه كان اقل للمواد المترابطة مقارنة بالسبيكة غير المقواة بسبب زيادة الصلادة وكذلك قل معدل البلى مع زيادة الكسر الحجمي للدقائق وان افضل نسبة اضافة هي ( $8\% Y_2O_3$ ).  
الكلمات المرشدة: البنية المجهرية، معدل البلى، مترابكات الايتريا / الالمنيوم - سليكون.

## Microstructure and Wear Rate of Yttria Reinforced Aluminum – Silicon Matrix Composites

### Abstract

In this research, composite materials of hypereutectic aluminum– silicon as a matrix reinforced with different volume fractions (2%, 4%, 6%, 8%) of Yttria particles with grain size between (50 - 75  $\mu m$ ) are prepared. The composites are prepared by vortex technique in which the particles were added to the melt then mixing it by mechanical stirrer then the mixture is poured in a metallic cylindrical molds. After that, the microstructure, Vickers hardness and wear rate were conducted. The results showed the existence of the reinforcement particles in different amounts in the microstructure and an increase in the hardness for the prepared composites when compared with the unreinforced alloy. The results also showed a better particles distribution and higher hardness with increasing yttria volume fraction. The wear rate of the composites is reduced when compared with the unreinforced alloy due to the hardness increase. More reduction in wear rate was noticed with increasing the Yttria volume fraction, and the better added percent was (8%  $Y_2O_3$ ).

**Keywords:** Microstructure; Wear Rate; Yttria/Al-Si Composites.

عمليا بالنقصان في الوزن التركيبي من ناحية الالهية وهذا ادى الى تطوير مواد جديدة تمزج ما بين الكثافة الواطئة والصلادة المحسنة مع المقاومة العالية كبداية لسبائك الالمنيوم والتيتانيوم العالية المقاومة. ولذلك فان الحاجة لتحسين خواص السبائك ادت الى الحصول على تحسينات في الكفاءة التركيبية والمعدلية والاداء الكلي من خلال اما نقصان الوزن الكلي او زيادة نسبة المقاومة الى الوزن [1,2,3].

### المقدمة

تستخدم المواد المترابطة ذات اساس من سبائك الالمنيوم في التطبيقات التي تتطلب خواص ميكانيكية جيدة مع وزن خفيف، وان تطبيق هذه المواد يكون على اساس تحسين الخواص الميكانيكية عند درجات الحرارة العالية ومقاومة البلى مقارنة بالسبائك غير المقواة. ومن التطبيقات المهمة التي تستخدم فيها هذه المواد هي الفضاء والمركبات. ان زيادة الصلادة ومقاومة الخضوع ومقاومة الشد القصوى يرتبط

اجريت عملية الخلط الميكانيكي لمدة (3min) لعمل الدوامة. تتكون المنظومة المستخدمة لعمل الدوامة من خلاط كهربائي مزود بمروحة فولاذية تدور بسرعة دورانية (300 rpm). بعد عمل الدوامة وخط المنصهر تم صب المنصهر في قالب فولاذي مجفف مسبقا وتركت المسبوكة لتتجمد في الهواء الساكن. تم تحضير جميع العينات للحصول على كسور حجمية مختلفة هي (2%, 4%, 6%, 8%) من دقائق الايتريا وبنفس الطريقة.

#### فحص البنية المجهرية

تم اخذ نماذج من سبيكة (Al-14%Si) المقواة بدقائق الايتريا المحضرة وتم تنعيمها بورق ذو درجات توزيع مختلفة من كاريبيد السيليكون (1200, 1000, 500, 320) باستخدام جهاز (Struers DAP-5, Denmark). بعد ذلك تم صقل العينات باستخدام مسحوق الالومينا بحجم حبيبي (0.3µm). بعد ذلك تم اظهار العينات باستخدام (0.5%HF) [7], وغسلها بالماء ثم الكحول ثم تجفيفها بالهواء الساخن. تم بعد ذلك فحص البنية المجهرية بواسطة المجهر الضوئي (100W Carlzeiss Jane, Germany) مع كاميرا رقمية (5 Mega pixels).

اختبار الصلادة

تم اجراء اختبار الصلادة باستخدام طريقة (Vickers Hardness) وباستخدام جهاز (Zwick & Co., Germany). تم حساب رقم الصلادة باخذ معدل ثلاث قراءات لكل عينة وباستخدام حمل مقداره (500 g).

اختبار معدل البلى

استخدم اختبار البلى في جهاز اختبار البلى من نوع المسمار على القرص (Pin-On Disk) وعند ظروف جافة بعد تحضير عيناته بنفس طريقة تحضير عينات الفحص المجهرية ولكن بدون اظهار وكانت العينات ذات قطر (1cm) وطول (2cm). ان قيم المتغيرات (Variables) التي اعتمدت في هذه الاختبارات هي:-

1- زمن الانزلاق (t) (15, 10, 5 min).

2- الحمل المسلط (N) (20, 15, 10).

اما معدل البلى فقد حسب من خلال العلاقة التالية [8]:

$$\text{Wear rate (Wr)} = \Delta w / 2\pi r n p t \quad (1)$$

.....

تعتبر خواص مقاومة الاحتكاك والبلى واحدة من اهم الخواص التي دعت الحاجة الى تحسينها لما لها من اهمية في كثير من التطبيقات مثل مكابس المحركات والمحامل. وعلى الرغم من ان سبائك الالمنيوم تمتلك ما يؤهلها للاستخدام في مثل هذه التطبيقات، الا انها لا تمتلك المقاومة المطلوبة تحت ظروف الاحتكاك الجاف، ولذلك عمد الباحثون على دراستها وتحديد الامكانيات التي يمكن من خلالها تحسين خاصية مقاومة الاحتكاك والبلى. ان احدى الطرق التي تحسن هذه الخاصية هي اضافة المواد السيراميكية وهناك كثير من البحوث تطرقت الى اضافة دقائق سيراميكية عديدة [4,5,6], الا ان البحوث المتعلقة باضافة (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) قليلة خصوصا لسبائك الالمنيوم-سليكون ما بعد الايوتكتك وخاصية البلى فيها وهذا ما سنحاول دراسته في هذا البحث. ان الهدف من هذا البحث هو دراسة خاصية البلى للمواد المترابطة المكونة من سبيكة (Al-14%Si) ومقواة بكسور حجمية مختلفة من دقائق (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

المواد وطرائق العمل

تم استخدام سبيكة الاساس (Al-14%Si) والجدول رقم (1) يبين التركيب الكيميائي لهذه السبيكة وقد تم اجراء التحليل الكيميائي للسبيكة باستخدام جهاز الامتصاص الذري في وزارة

العلوم والتكنولوجيا نوع (AA-6800 Shimadzu, Japan). تم استخدام دقائق الايتريا (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) بشكل مسحوق وبحجم حبيبي مابين (-75, +50µm) والذي تم قياسه من خلال جهاز غربلة هزاز نوع Ridsdale & Co LTD, England

لمدة (10) دقيقة. تم تحضير المواد المترابطة من خلال صهر قطع من السبيكة الاساس (Al-14%Si) بوزن (195.2gm) داخل بودقة من الالومينا في فرن كهربائي نوع (Townson, England) وعند درجة حرارة (700°C). بعد ذلك نقلت البودقة المحتوية على المنصهر ثم وضعت في فرن كهربائي اسطواني مفتوح الفوهة بدرجة حرارة (750°C). اضيفت بعد ذلك دقائق الايتريا بوزن (4.8gm) بعد ان غلفت برقائق الالمنيوم النقي للحصول على كسر حجمي مقداره (2 %) وسخنتم ثم

حيث ان:

Wr: معدل البلى ( $\text{cm}^3/\text{cm}$ ).

$\Delta w$ : الفرق بالوزن قبل وبعد الاختبار (gm).

r: المسافة من مركز العينة الى مركز قرص الانزلاق (7cm).

n: عدد دورات القرص الفولاذي بالدقيقة (512 rpm).

$\rho$ : كثافة العينة ( $\text{gm}/\text{cm}^3$ ).

استخدم قرص الصلب الكربوني (Carbon Steel Disc) ذو صلادة (35HRC) لاختبار البلى، حيث تم تثبيت عينات الاختبار في الماسك، واجريت عملية موازنة للذراع الحامل لماسك العينة (Specimen Holder) ومن ثم التأكد من حدوث التلامس بين سطح العينة والقرص الفولاذي المواجه بصورة صحيحة قبل اجراء الاختبار لكل عينة، كما اجريت عملية تنعيم للقرص وبالتحديد لمنطقة التلامس بعد الانتهاء من اختبار كل عينة وذلك باستخدام اوراق تنعيم درجة (500 , 1000) لضمان المحافظة على مستوى واحد من الخشونة الابتدائية لسطح القرص وتنظيف السطح مما علق به من مادة عينة الاختبار عند اجراء اختبارات البلى للعينات، وتم حساب معدلات البلى (Wear Rates) للعينات من خلال قياس وزن كل عينة قبل البدء بالاختبار ثم قياس وزن العينة بعد الانتهاء من الاختبار وذلك باستخدام الميزان الحساس نوع (Mettler AE200 Switzerland) دقة ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ ).

#### النتائج والمناقشة

##### البنية المجهرية

يوضح الشكل رقم (1) البنية المجهرية لسبيكة Al-Si ما بعد الايونتكنت ويوضح الشكل البنية المجهرية المتكونة من ايونتكنت مع طور المنيوم ابتدائي وكمية صغيرة من السيليكون الابتدائي. السبب في ذلك يعود الى ان هذه السبيكة تحتوي على عدد من العناصر المضافة مثل النحاس بالإضافة الى كمية من الشوائب، هذه العناصر يمكن ان تزيد من معدل تبريد السبيكة عند صبها في قوالب معدنية بعد اجراء التحريك الميكانيكي فيها، وعند زيادة معدل التبريد فأنا نقطة الايونتكنت تميل نحو العنصر ذو النسبة الاقل (اي السليكون) وبذلك يتكون طور الالمنيوم الابتدائي عند صب السبيكة. توضح الاشكال (2)، (3)، (4) و (5) البنية المجهرية للمواد

المترابطة المكونة من اساس Al-Si و دقائق الايتريا بنسب اضافة مقدارها 4%، 6%، 8% 2% على التوالي. اظهرت نتائج الفحص المجهرية الموضحة في هذه الاشكال وجود دقائق الايتريا ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) في السبيكة الاساس كما يتدرج وجود الدقائق مع نسبة الاضافة وسرعة الخلط، حيث ان سرعة الخلط المستخدمة كانت عالية مما يؤدي الى توزيع الدقائق في اجزاء القالب كذلك فإن التوزيع يزداد مع زيادة نسبة الاضافة للدقائق وهناك ايضا بعض التكتلات لدقائق الاضافة. ان احسن توزيع حصل عند نسبة اضافة لدقائق الايتريا والتي كانت 8% . من خلال هذه الاشكال المجهرية تم ملاحظة وجود كمية من دقائق الايتريا المضافة في المحيط الخارجي للمصبوبة والسبب يعود الى سرعة الخلط الكبيرة المستخدمة والتي تؤدي الى زيادة قوة الطرد المركزي للسائل وتجعل الدقائق تتجه نحو جوانب المصبوبة وقد تكون السبب في تكتلها ايضا.

#### الصلادة

الشكل (6) يوضح العلاقة ما بين الصلادة والكسر الحجمي لدقائق الايتريا المضافة. لوحظ من خلال الشكل ان الصلادة للمواد المترابطة تكون اكبر من صلادة السبيكة الاساس بسبب فعل دقائق الاضافة كذلك ان الصلادة تزداد مع زيادة الكسر الحجمي للدقائق لان صلادة الدقائق نفسها تكون عالية.

#### معدل البلى

الشكل رقم (7) يوضح العلاقة ما بين معدل البلى والكسر الحجمي لدقائق الايتريا عند زمن انزلاق مقداره 5 دقيقة وفيها لوحظ ان معدل البلى لجميع المواد المترابطة يكون اقل من معدل البلى للسبيكة الاساس كذلك ان معدل البلى يقل مع زيادة الكسر الحجمي للدقائق وهذا يعود الى زيادة الصلادة مع زيادة الكسر الحجمي كما هو مذكور من خلال نتائج الصلادة. عند زيادة زمن الانزلاق الى (10) دقيقة، فقد لوحظ نقصان معدل البلى مع زيادة الكسر الحجمي للدقائق وتزداد معدلات البلى مع زيادة زمن الانزلاق اكثر الى 15 دقيقة.

الشكل رقم (8) يوضح العلاقة بين معدل البلى وزمن الانزلاق لسبيكة

Al-14%Si بثبوت الحمل المسلط وتم ملاحظة زيادة معدل البلى مع زيادة زمن

$$W_r = -0.014(v_f)^4 + 0.2071(v_f)^3 - 0.8517(v_f)^2 - 0.0633(v_f) + 6.5$$

(2).....

**الاستنتاجات**

- 1- يقل معدل البلى مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق الاضافة.
- 2- ان الانتقال من البلى الخفيف الى البلى الشديد يعتمد على المادة المستخدمة ويكون طفيف عند زمن الانزلاق القليل وكبير وواضح عند الازمان العالية والاحمال الشديدة وذلك بسبب زيادة كمية الدقائق المنفصلة والتي تعمل كمراكز اضافية لبلى سطح العينة.
- 3- افضل صلادة واقل معدل بلى هو عند اعلى كسر حجمي مستخدم وهو (8% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al-Si).

**المصادر**

1. Yilmaz H.S., "Characterization of silicon carbide particulate reinforced squeeze cast aluminum 7075 matrix composite", M.Sc thesis, Middle East Technical University, Turkey, p.2, 2004.
2. Adamiak M., "Selected properties of the aluminum alloy base composites reinforced with intermetallic particles", Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 14, Issue 1-2, January-February, pp. 43-47, 2006.
3. Takagi M., Ohta H., Imura T., Kawamura Y., Inoue M., "Wear properties of nanocrystalline aluminum alloys and their composite", Scripta Materialia, Vol. 44, p.2145, 2001.
4. Achutha M.V., Sridhara B.k., Abdul Budan D., "A reliability based stress life evaluation of aluminum-graphite particulate composites", Mat. & Design, Vol.29, Issue 4, pp.769-774, 2008.
5. Kim S.W., Lee U.J., Han S.W., Kim D.K., Ogi K., "Heat treatment and wear characteristics of Al/SiC<sub>p</sub> composites fabricated by

الانزلاق ونفس الحالة توجد في المواد المترابطة  
الموضحة في  
الاشكال (9)، (10)، (11) و (12). تعود زيادة معدل البلى الى حصول انفصال لبعض الدقائق من العينة وهذه الدقائق المنفصلة تسمى (debris) وتعمل كجزء صلد يزيد من بلى العينة. ان سبب نقصان القليل في معدل البلى في الشكل (9) عند زمن انزلاق 10 دقيقة قد يعود الى حدوث اخطاء في اجراء اختبار البلى من ناحية تثبيت عينة الاختبار. الشكل (13) يوضح العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط لسبيكة Al-14%Si بثبوت زمن الانزلاق. ان زيادة معدل البلى مع زيادة الحمل المسلط يعود الى ازدياد كمية الدقائق الصغيرة المنفصلة من مادة العينة (المادة المترابطة) نتيجة زيادة الاحتكاك والضغط مع قرص الجهاز الصلد وهذه الدقائق تزيد من بلى سطح العينة لانها تعمل كاجهاد مركز على العينة في مناطق تواجدها. نفس الحالة توجد في الاشكال (14) و (15) وهي ازدياد معدل البلى مع زيادة الحمل المسلط وعند كافة المواد المترابطة وكذلك انتقال نوعية البلى من البلى الخفيف الى البلى الشديد المعدني عند الازمان والاحمال العالية.  
ان آلية البلى المعدني الحاصلة تحدث نتيجة لكون ضغط التحميل له القدرة على تكسير كلي للاكاسيد المتكونة على السطح المعرض للبلى. ونتيجة لذلك فان اتصالا معدنيا سوف يحدث مما يؤدي الى حصول التلاحم كلي بين السطحين. ان تكسر هذا الالتحام نتيجة لاستمرار الانزلاق يؤدي الى تكوين دقائق البلى المعدنية (debris) المذكورة اعلاه والتي تنفصل من المادة المترابطة. مع زيادة الحمل تزداد هذه الدقائق المعدنية بواسطة آلية الانفصال وتعمل كمراكز اضافية لزيادة البلى وقد تسبب حصول تشويبه لدن في سطح العينة وتشققات عميقة بسبب الاحتكاك. من خلال الاشكال السابقة كافة لوحظ ان اقل معدل بلى كان عند اعلى كسر حجمي بسبب الصلادة العاليية كذلك ان اقل معدل بلى كان عند اقل زمن انزلاق واقل حمل مسلط، وافضل علاقة رياضية وجدت تصف هذه الحالة هي:

Handbook, Metallography and Microstructures, vol. 9, ASM International, Materials park, OH, pp.107-115, 2004.

8. Zhang S., Wang F., "Comparison of friction and wear performances of brake material dry sliding against two aluminum matrix composites reinforced with different SiC particles" J. Mat. Proc. Tech. Vol.182, pp.122-127, 2007.

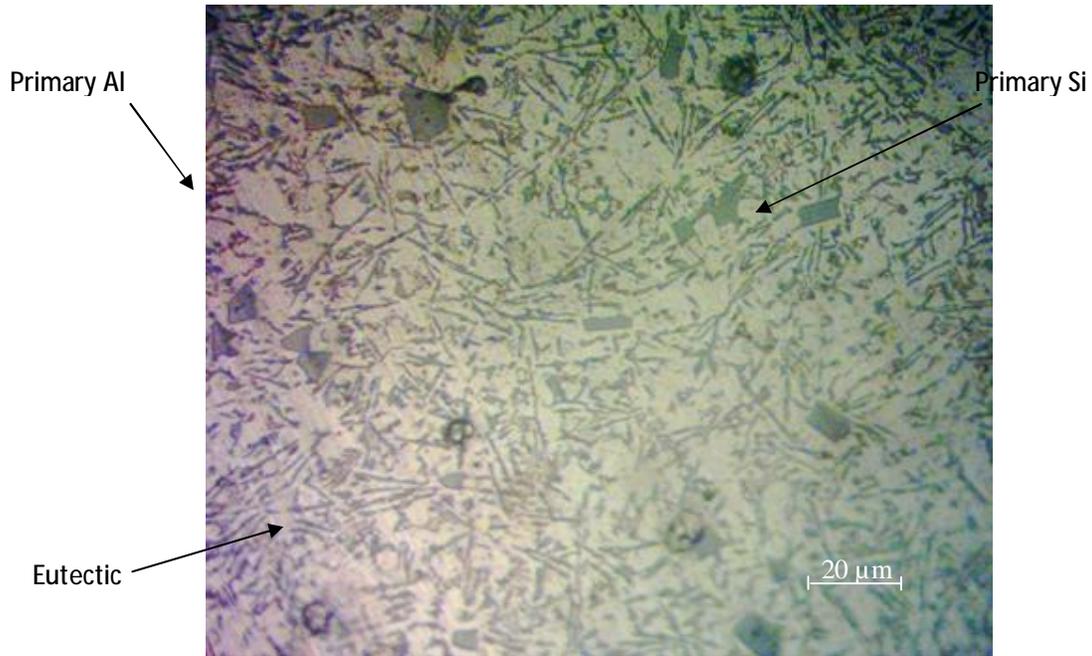
duplex process", Composites Engineering, Part B, Vol. 34, pp.737-745, 2003.

6. Min Z., Gaohui W., Zuoyong D., Longtao J., "TiB<sub>2</sub>/Al composite fabricated by squeeze casting technology", Mat. Sci. Eng., Vol. A374, pp.303-306, 2004.

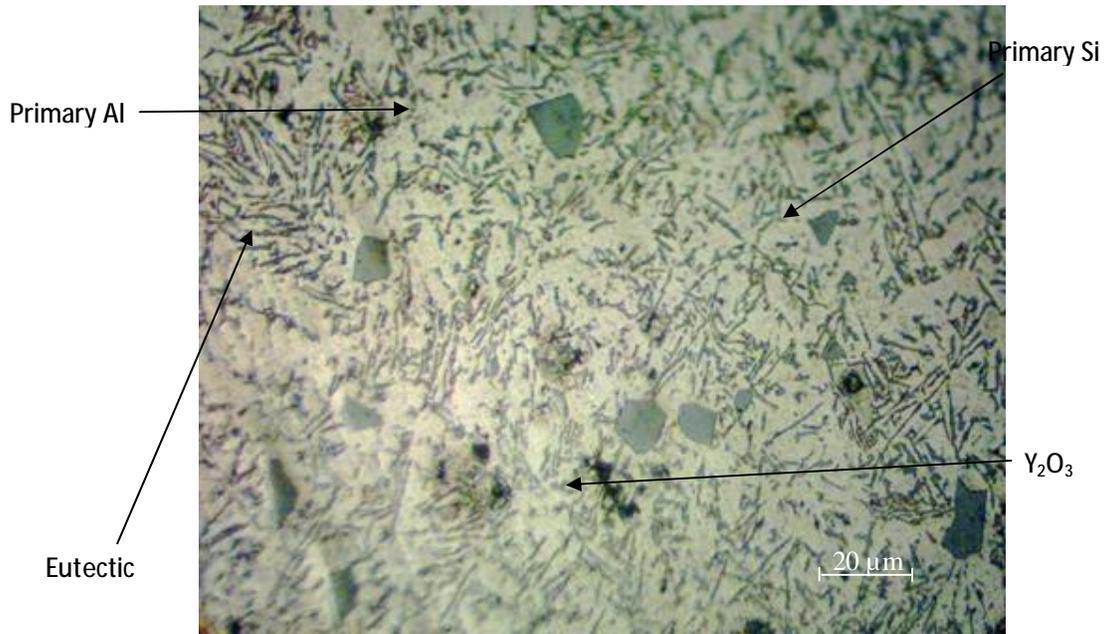
7. Stefanescu D.M., Ruxanda R., "Solidification structures of aluminum alloys" ASM Metals

الجدول رقم (1) التركيب الكيميائي لسبيكة الالمنيوم-سليكون (Wt%).

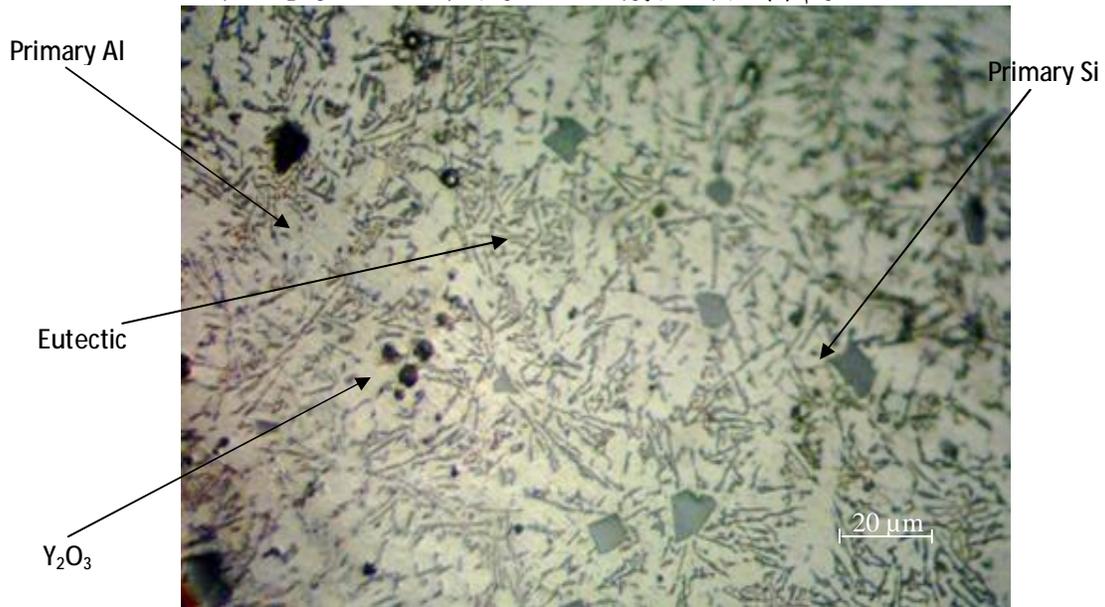
Si	Cu	Fe	Mn	Mg	Al
14	0.53	0.32	0.21	0.25	Balance



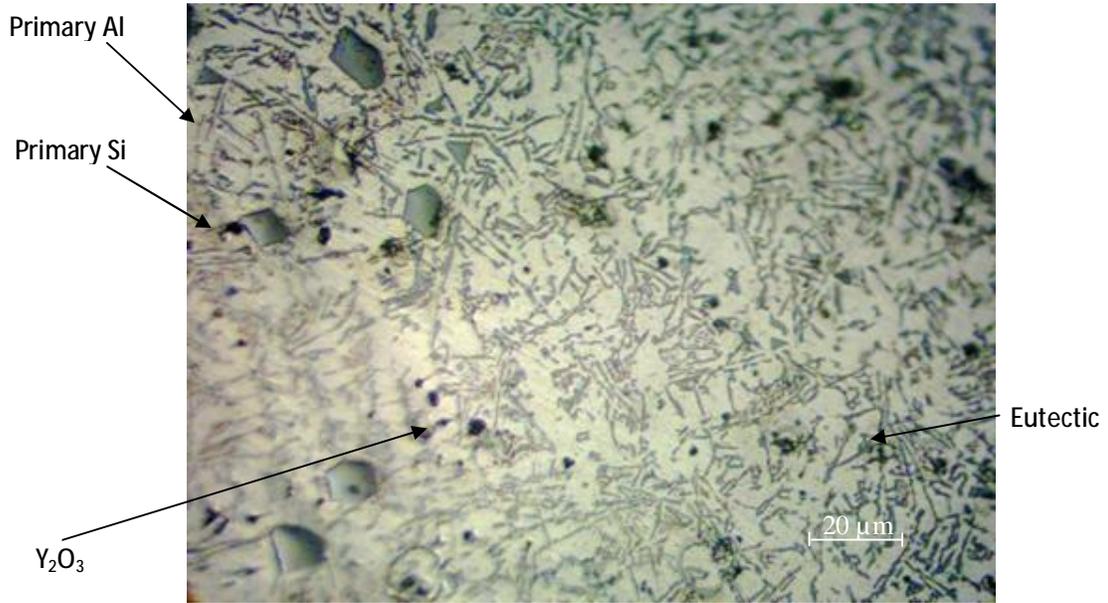
الشكل رقم (1): البنية المجهرية لسبيكة (Al-14%Si) المصبوبة



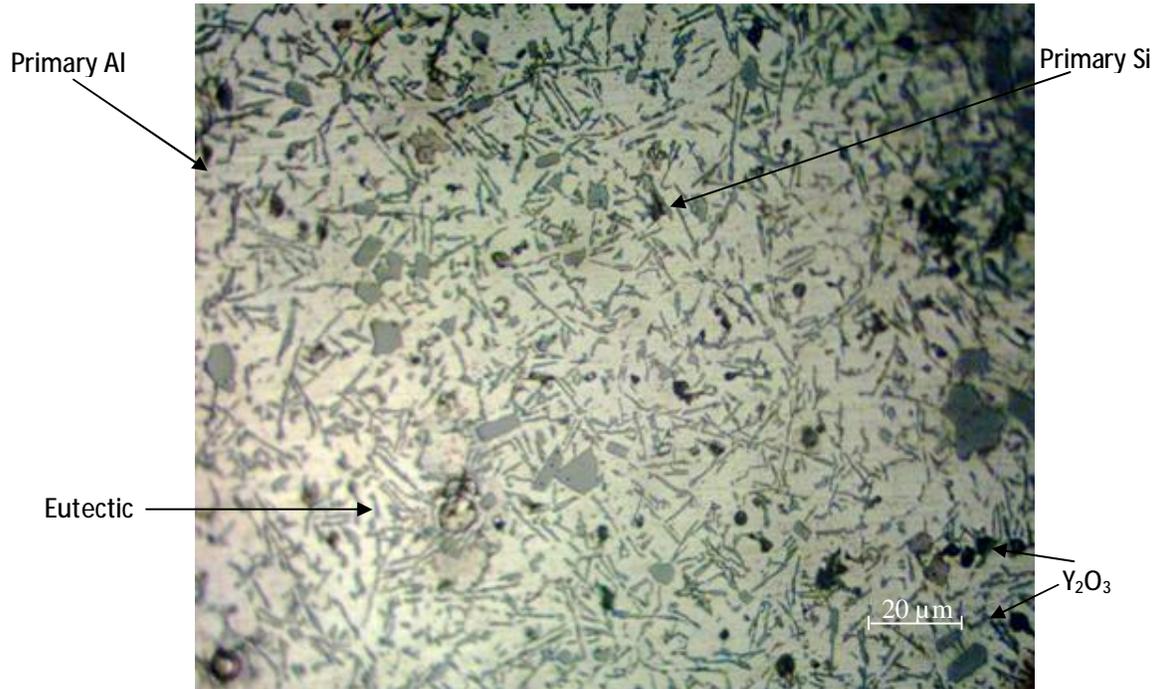
الشكل رقم (2): البنية المجهرية للمادة المترابطة (2%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al-14%Si)



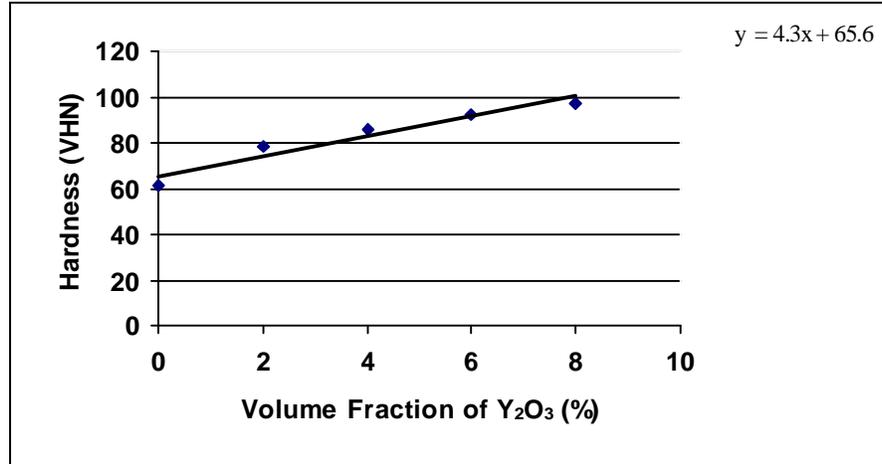
الشكل رقم (3): البنية المجهرية للمادة المترابطة (4%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al-14%Si)



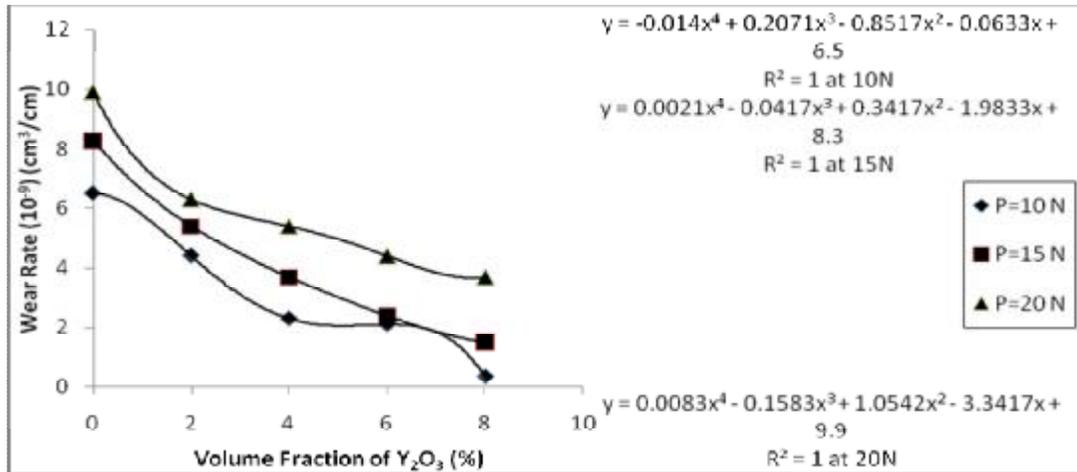
الشكل رقم (4): البنية المجهرية للمادة المترابطة (6% $Y_2O_3$ /Al-14%Si)



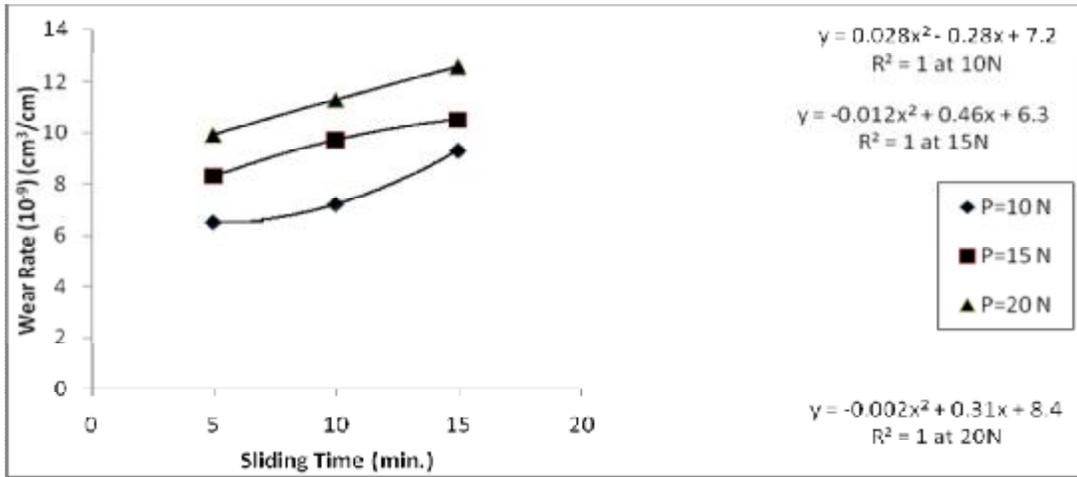
الشكل رقم (5): البنية المجهرية للمادة المترابطة (8% $Y_2O_3$ /Al-14%Si)



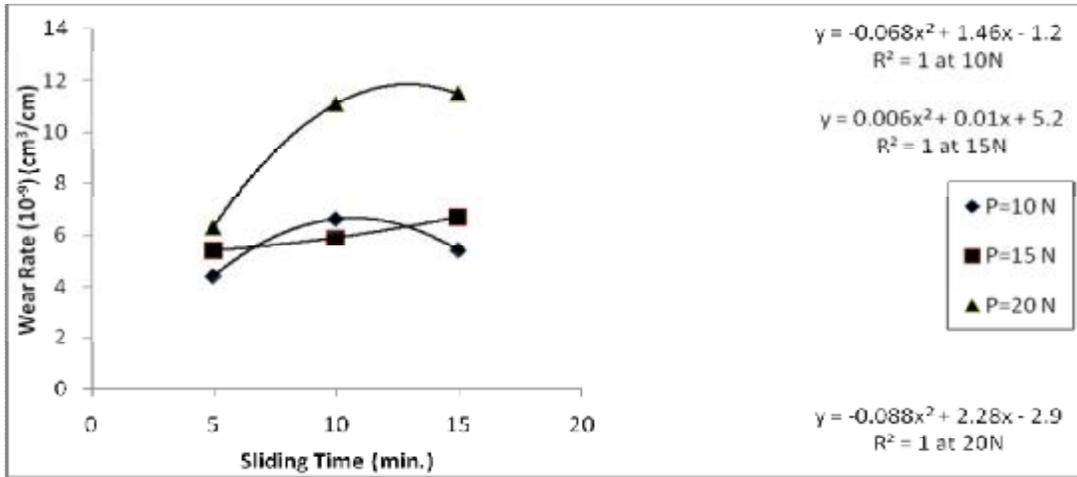
الشكل رقم (6) علاقة الصلادة مع الكسر الحجمي لدقائق الايتريا في المواد المترابطة



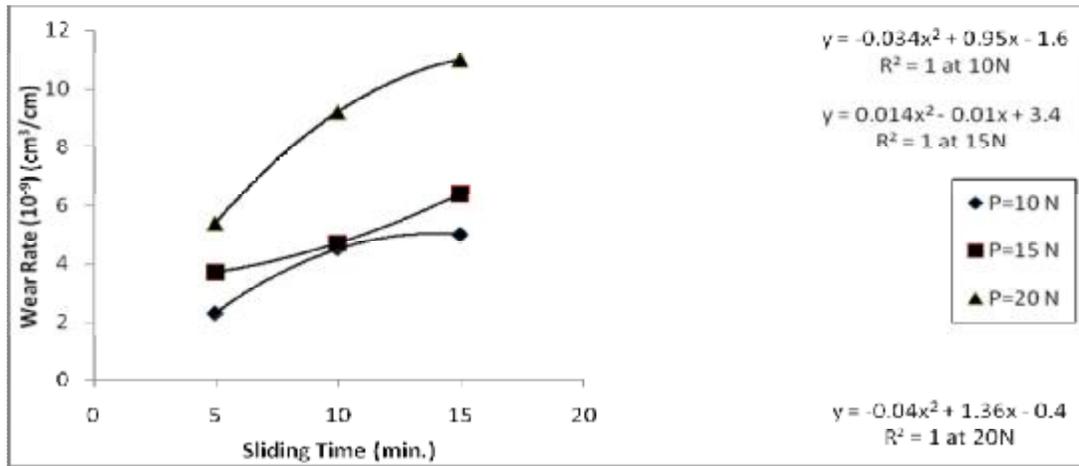
الشكل رقم (7) علاقة معدل البلى مع الكسر الحجمي للمواد المترابطة عند زمن (5) دقائق



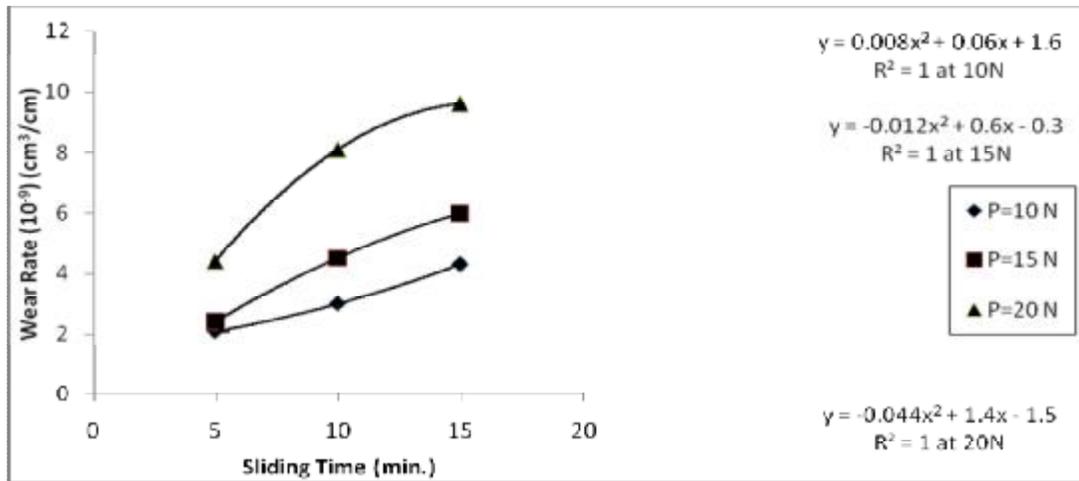
الشكل رقم (8) علاقة معدل البلى مع زمن الانزلاق للسبيكة الاساس (Al-14%Si) عند احمال مختلفة



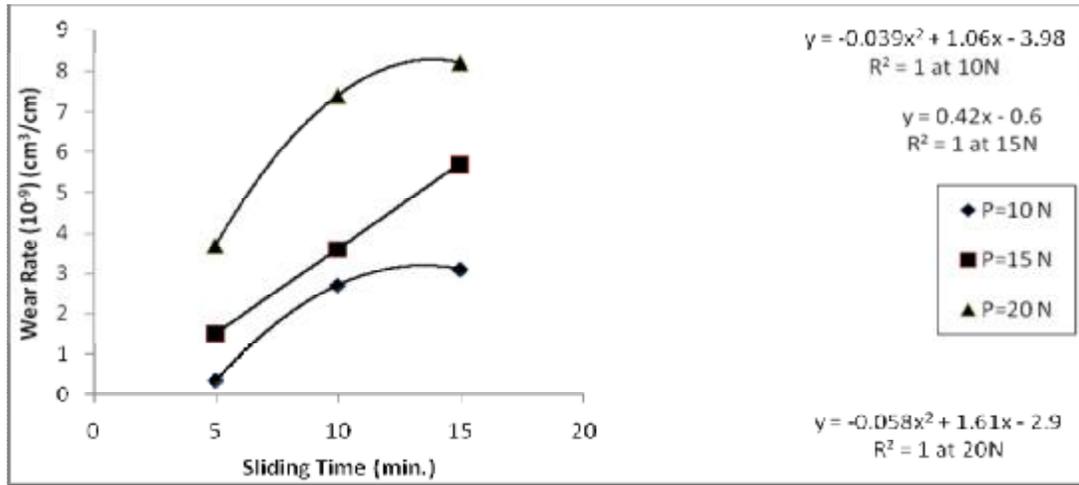
الشكل رقم (9) علاقة معدل البلى مع زمن الانزلاق للمواد المترابطة عند كسر حجمي (2%)



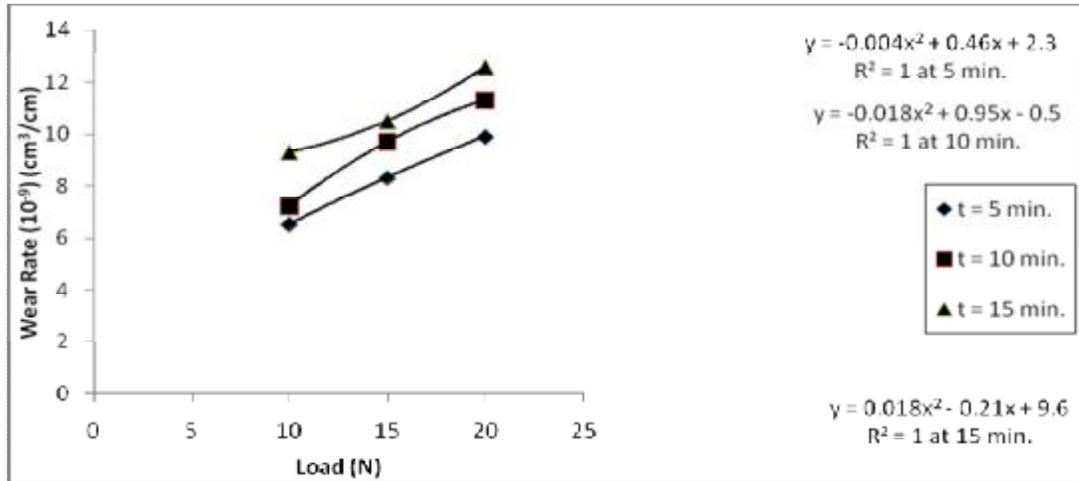
الشكل رقم (10) علاقة معدل البلى مع زمن الانزلاق للمواد المترابطة عند كسر حجمي (4%)



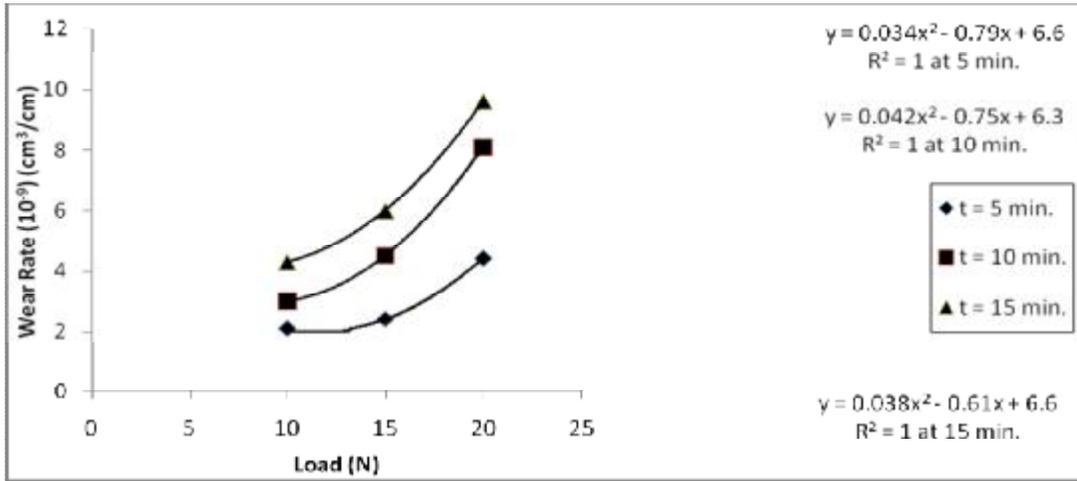
الشكل رقم (11) علاقة معدل البلى مع زمن الانزلاق للمواد المترابطة عند كسر حجمي (6%)



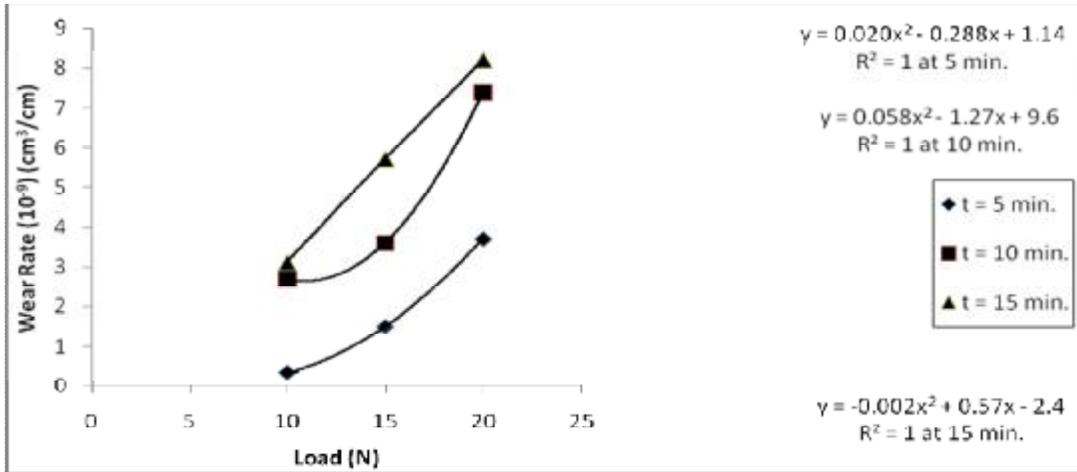
الشكل رقم (12) علاقة معدل البلى مع زمن الانزلاق للمواد المتراكبة عند كسر حجمي (8%)



الشكل رقم (13) علاقة معدل البلى مع الحمل المسلط للسبيكة الاساس (Al-14%Si) عند ازمان مختلفة



الشكل رقم (14) علاقة معدل البلى مع الحمل المسلط للمواد المترابطة عند كسر حجمي (6%)



الشكل رقم (15) علاقة معدل البلى مع الحمل المسلط للمواد المترابطة عند كسر حجمي (8%)