

Effect of Zinc Addition on the Density and Wear Rate of Al-12Si Compacts

Mahde Mter Hanoon

Production Engineering and Metallurgy Department, University of Technology

Email: Mahde-mter@yahoo.com

Received on: 28/11/2011 & Accepted on: 7/6/2012

ABSTRACT

This research aimed to prepare Al-12Si alloys by powder metallurgy method because of its commercial and technological importance. Aluminum and Silicon powders were used, then mixed and blended together and classified into four parts, carbon powder was added to the three parts (5,10 and 15% wt) and the last remain as it is. These powders were mixed to ensure a good distribution of Zinc powder, and then they compacted in isostatic cold pressure at 10 ton, the compact samples were sintered in furnace under argon gas at 530°C for one hour, These samples were then prepared (grinded, polished and etched) for them microstructure examination, density, porosity, microhardness, X-ray diffraction and wear resistance. The results showed an increase in the density and the hardness with addition ratio.

Keywords: Al-Si alloys, composite materials matrix Al, powder metallurgy, master alloys.

تأثير إضافة الزنك على الكثافة والبلى لسبيكة Al-12Si

الخلاصة

يهدف هذا البحث الى تحضير سبائك الألمنيوم-سيليكون (Al-12Si) بطريقة ميتالورجيا المساحيق Powder Metallurgy تم العمل في هذا البحث استخدام مسحوق الألومنيوم والسيليكون ثم خلطهم وتصنيفهم الى أربعة أجزاء بنسبة (Al-12Si). تم إضافة مسحوق الزنك بنسب ثلاث (5,10 and 15% wt) للأجزاء الثلاثة على التوالي بينما بقي الجزء الآخر بدون إضافة تم بعدها إجراء عملية المزج للأجزاء الثلاثة الأولى لضمان تجانس مسحوق الزنك مع الخليط وبعدها تم إجراء عملية الكبس على البارد عند (10ton) ويقوالب ذات ابعاد مختلفة. تم إجراء عملية التلييد للعينات المكبوسة عند (530°C) ولمدة ساعة واحدة وباستخدام غاز الأروك كغاز حامل وبعد عملية التبريد تم تحضير العينات (الصقل والتنعيم والأظهار) لأجراء فحص البنية المجهرية وفحص الكثافة والمسامية والصلادة وفحص الأشعة السينية ومقاومة البليان، وأظهرت النتائج زيادة في الكثافة والصلادة ومقاومة البلى مع زيادة نسبة إضافة مسحوق الزنك.

المقدمة

تستخدم سبائك الألمنيوم-السيليكون بشكل واسع في المجال الميكانيكي وخاصة في مجال صناعة أجزاء المحركات وفي التطبيقات التي تحتاج الى تحمل الصدمات والأهتزازات [1]، لكن نظراً لعدم قدرة الألمنيوم للتآلف مع الزنك بسبب الذوبانية القليلة وطولاً لزيادة الخواص مقاومة البلى تم اللجوء الى تكنولوجيا المساحيق لإنتاج مكبوسات سبائك (الألمنيوم-سيليكون) ذات التطبيقات العديدة ولكون الخواص الميكانيكية للمكبوسات المعدنية ضعيفة لمقاومة البلى ملقونةً مع المسبوكات المصبوبة (المنتجة بطريقة السباكة) والتوجه الى سبل تطوير هذه المكبوسات ومن أهم هذه الطرق هي إضافة عناصر السبك (Employed) [2, 3] الى الخليط المعدني وأهم هذه العناصر (الزنك Zinc) والذي يضاف الى خليط مسحوقي الألمنيوم والسيليكون للحصول على مواصفات أفضل للمكبوسات وبعد إتمام عملية الخلط والمزج تجرى عملية الكبس بطرق كبس مختلفة ومتنوعة وبعدها تتم عملية التلييد Sintering في فرن كهربائي وباستخدام وسط مانع للتأكسد (مثل جو مفرغ أو باستخدام غازات خاملة) والتي تعمل على منع الأكسدة أثناء عملية التلييد وتجري عادة على عدة مراحل وبعدها تجرى عملية التنعيم والصقل والأظهار للعينات لأجراء فحوص [البنية المجهرية، الصلادة المايكروية، الكثافة والمسامية، فحص حيود الأشعة السينية وفحص مقاومة البلى].

الجزء العملي Experimental Work**•تحضير المساحيق Powders Preparation**

تم أخذ مسحوق الألمنيوم Aluminum بدرجة نقاوه (99.98) وبحجم حبيبي (25µm) مع مسحوق السيليكون Silicon بدرجة نقاوه (99.98) وبحجم حبيبي (35µm) ونسبة إضافة (AI-7S) وتم استخدام مسحوق الزنك Zinc وبحجم حبيبي (25µm+) وتم الأضافة بنسب مختلفة وكما موضحة بالجدول (1) وتم استخدام جهاز المناخل الهزاز لتصنيف الحجم الحبيبي للمساحيق، وتم وزن المساحيق بميزان رقمي ذو حساسية (±0.00001)، وبعدها تم إجراء عملية المزج بواسطة الخالط الكهربائي الدوار Electric Rolling Mixers محلي الصنع وبسرعة دوران (700-1000 r.p.m) وباستخدام كرات الألومينا بحجوم مختلفة ولمدة (25min). وبعدها تمت عملية الخلط اليدوي لمدة (15min) وذلك لضمان التجانس النوعي والحجمي لخليط المساحيق.

•كبس المساحيق Powders Compact

تمت عملية الكبس بمكبس هيدروليكي ذو سعة كبس (15ton) وباستخدام قوالب إسطوانية مصنوعة من الفولاذ باقطار (1.5, 2 and 4 Cm) واستخدمت طريقة الكبس على البارد باتجاه واحد وبقوة ضغط مقدارها (10 ton) لمدة (5min) لضمان تماسك المكبوس.

•تلييد المكبوسات Sintering of Compacts

تم إجراء عملية التلييد وذلك بوضع المكبوسات داخل حاوية لها فتحتان علوية لخروج غاز الأوكسجين (Oxygen) وسفلية لدخول غاز الأركون (Argon) غاز خامل لمنع حدوث التأكسد الذي يقلل من تماسك حبيبات المسحوق عند عملية التلييد ووضعت الحاوية داخل فرن كهربائي وهذا الفرن متصل بقارئ رقمي والى منظم غاز الأركون والشكل (1) يبين خطوات عملية التلييد. تم تسخين الفرن لغاية (200°C) وعند هذه الدرجة تم ضخ غاز الأركون وبعدها تم رفع درجة حرارة الفرن الى (400°C) وثبتت درجة الحرارة لمدة (30min) وبعدها تم التلييد عند درجة حرارة (530°C) لمدة (60min) وهي درجة حرارة تلييد الألمنيوم. والمعادلة التالية تمثل درجة حرارة التلييد: [4]

$$Ts = (0.7-0.9)Tm \text{ (K}^\circ\text{)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

حيث أن: Ts = درجة حرارة التلييد. Tm = درجة حرارة الأنصهار (K°).

وترك عند هذه الدرجة لمدة (1hr) للتأكد من وصول درجة حرارة الفرن الى الدرجة المطلوبة والى المكبوسات بالتساوي بعد ذلك برتت العينات بإبقائها داخل الفرن الى درجة حرارة (200°C) وعندها تم اغلاق تدفق غاز الأركون وعند الوصول الى درجة حرارة الغرفة تم إخراج العينات من الفرن.

•الفحوصات Testes of Samples**1- فحص الكثافة الخضراء للمكبوسات والكثافة بعد التلييد:**

تم دراسة الكثافة الخضراء للعينات المكبوسة (بعد اجراء عملية الكبس) وكذلك دراسة الكثافة الظاهرية للمكبوسات بعد إجراء عملية التلييد حسب نظرية ارخميدس وحسب المعادلة التالية: [4]

$$\rho = Wd / (Ws - Wn) \text{ (g/Cm}^3\text{)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

حيث أن: ρ = الكثافة الظاهرية (g/cm³). Wd = وزن النموذج وهو جاف (g).
Ws = وزن النموذج وهو مشبع بالماء (g). Wn = وزن النموذج وهو مغمور بالماء (g).

2- فحص البنية المجهرية أو المسامية:

تم اجراء عملية تحضير العينات باجراء عملية التنعيم باستخدام جهاز التنعيم ذو القرص الدوار وباستخدام ورق تنعيم بدرجات (120, 220, 400, 600, 800, 1000 and 1200)، ومن ثم تم اجراء عملية الصقل باستخدام قماش صقل خاص واستخدمت حبيبات مسحوق الماس كمادة صقل وبحجم حبيبي (0.3µm)، وبعدها تم الأظهار بغمر العينات بحامض HF المخفف لمدة (10sec) وتم غسل العينات بالكحول وجففت بواسطة مجفف العينات، وعندها تم تصوير العينات بواسطة مجهر ضوئي نوع (Olympus) ذو قوة تكبير تصل الى (2500X) ومتصل الى كاميرا رقمية دقيقة مربوطة الى حاسبة تقوم باظهار الصور وخرن الصور المأخوذة للعينات. أما قياس نسبة المسامية وقياس حجم المسامات فقد تم

باستخدام برنامج J-Image والمبين بالشكل (2)، ومبدأ عمل البرنامج يتلخص بأخذ صور العينات من المجهر الضوئي وادخالها الى البرنامج الذي سيقوم بتحليلها وتحويلها الى صور ثنائية اللون (أبيض وأسود) وبعدها يقوم بقياس حجم الحبيبة أو المسامية (الفجوة) ويقوم أيضاً بقياس الكسر الحجمي (نسبة) للحبيبات والمسامات الموجودة في صورة العينة وذلك نسبةً الى مساحة الصورة.

3- فحص صلادة فيكرز المايكروية وفحص حيود الأشعة السينية:

تم فحص صلادة فيكرز للعينات باستخدام جهاز فحص صلادة فيكرز المايكروية حيث سلط حمل مقداره (450g) ولمدة (20sec)، وكذلك تم اجراء فحص حيود الأشعة السينية بجهاز نوع (Shimadzu) الموجود في وزارة العلوم والتكنولوجيا.

4- فحص مقاومة البلى:

تم اجراء الفحص باستخدام جهاز المسمار على القرص وباستخدام قرص من الصلب الكربوني المعامل حرارياً وذو صلادة 50 روكويل. وبعد تثبيت المسمار بالحامل تم تسليط حمل مقداره 1500 g. وتم حساب معدل البلى (cm^3/cm) باستخدام المعادلة (2):

$$W_r = \Delta W / 2\pi r d n t \quad \dots\dots\dots (2)$$

حيث :

ΔW : الوزن المفقود.

d: قطر دوران المسمار (cm).

ρ : كثافة السبيكة حسب بسبة العناصر المضافة (g/cm^3).

n: سرعة دوران القرص (r.p.m).

t: زمن الأختبار (min).

النتائج والمناقشة:

1- فحص الكثافة الخضراء للمكبوسات والكثافة الظاهرية للعينات بعد التليد:

من الشكل (3) يتبين أن الكثافة الخضراء للعينات الحاوية على مسحوق الزنك تكون أعلى نسبياً من تلك الخالية من حبيبات مسحوق الزنك وذلك بسبب مسحوق الألمنيوم والذي يعتبر أكثر المساحيق المستخدمة لونة، وأثناء عملية الكبس ولوجود مساحات سطحية كبيرة بين المساحيق سيحدث تشوه لدن لحبيبات الألمنيوم (خصوصاً مع حبيبات مسحوق الزنك) وبالتالي سيحدث الترابط بين الحبيبات [4]. فقد لوحظ من الشكل (3) نقصان الكثافة الظاهرية بعد التليد مقارنة بالكثافة الرطبة للمكبوسات بشكل عام بعد الكبس وذلك بسبب التمدد الحاصل بالمسامات أثناء عملية التليد (بسبب الفرق بالتمدد الحراري) والذي يؤدي الى توسع المسامات الغازية الموجودة داخل المكبوس. وكنتيجة لهذه التغييرات سوف تزداد حجم المسامات داخل المكبوسات (ويؤدي هذا الى توسع معظم المكبوسات) ويلاحظ تركزها قريباً من المنطقة البعيدة عن المكبس، [5] وذلك يرجع الى أنتشار الحبيبات وتتحول أغلب الفجوات الغازية (المسامية) من الفجوات المغلقة الى الفجوات المفتوحة نتيجة التوسع الناتج بسبب الحرارة والذي يؤدي الى اندماج الفجوات المغلقة مع بعضها وتكوين الفجوات المفتوحة وتتحول الفجوات الى أشكال شبه كروية وتعمل حبيبات الزنك الصلدة على مقاومة توسع الفجوات الغازية وتمنع تكون فجوات كبيرة جداً على عكس العينات التي لا تحتوي على مسحوق الزنك [6].

1- نتائج فحص البنية المجهرية والمسامية:

الأشكال (4,5,6 and 7) تظهر لنا البنية المجهرية للمكبوسات وتبين لنا صور العينات أن الفجوات وعند التسخين الى درجة حرارة (400°C) ولمدة (15min) تتحول الى الشكل شبه كروي وتبدأ بالتوسع الى حد معين ثم تبدأ بالاعاقة من قبل حبيبات المساحيق وخاصة حبيبات مسحوق الزنك الصلدة التي بدورها تبدأ بالتوسع والأنتشار والترابط في ما بينها وتقطع الطريق أمام توسع وتمدد الفجوات أكثر، [5] أما عند درجة حرارة التليد (830°C) والتي تستمر لمدة (1hr) سوف يستمر انتشار وترابط الحبيبات وكذلك سوف تبدأ مرحلة شبيهة بأعادة التبلور للحبيبات، [6, 7, 8] وهذه الدرجة تكون أكبر في المكبوسات عن السبائك المسبوكة. ويتبين من نتائج فحص البنية المجهرية ومن مقارنة الصور مع البحوث السابقة تبين تكون الطور (AI-12Si) [8, 9, 10] بين الألمنيوم ووالسيلكون، وكذلك يلاحظ الطور (AI₄Zn₆) [5, 11] الذي يتكون بين حبيبات الألمنيوم والزنك والتي تتكون من التفاعل بين حبيبات الزنك وحبيبات الألمنيوم وهذا الطور يعمل على

ملء الفجوات البينية بين الحبيبات وبالتالي يقلل من نسبة المسامية. [12, 13] أما نسبة المسامية وحجم المسامات فمبينة بالشكل (8) التي تبين متوسط حجم ونسبة المسامات المأخوذة من نتائج برنامج S-Image والتي توضح نقصان في كل من حجم ونسبة المسامات بزيادة نسبة الزنك ويعود ذلك الى تكون الطور الثانوي (Intermetallic Phase) (Al_4Zn_6) المتكونين حبيبات الألمنيوم والزنك والذي يقلل من توسع المسامات وكذلك يقلل من تكونها أثناء الكبس وذلك بسبب ملء الفراغات والفجوات المتكونة بين حبيبات المكبوس [7, 11, 14].

3- نتائج فحص صلادة فيكرز المايكروية وفحص حيود الأشعة السينية:

ونائج فحص صلادة فيكرز المايكروية موضحة بالشكل (9) ويتبين من خلالها أن الصلادة تزداد بنسبة قليلة مع زيادة نسبة إضافة مسحوق الزنك وهذا يرجع الى تكون الطور الثانوي (Intermetallic Phase) (Al_4Zn_6) بين الألمنيوم والزنك والذي يكون طور صلبنسياً ويعمل على زيادة مقاومة وصلادة البنية التركيبية للمكبوسات مقارنة مع العينات التي لاتحوي مسحوق الزنك. [15, 16] ومن خلال فحص الأشعة السينية الموضحة بالأشكال (10, 11, 12 and 13) يتبين ظهور الطورين (Al-12Si) ($AlSi_7$) وظهور الطور الثانوي (Al_4Zn_6) وهو الطور المتكون بين الألمنيوم والزنك وكذلك ظهور الزنك بنسب قليلة في المكبوسات.

4- نتائج فحص مقاومة البلى:

أما الحال بالنسبة الى مقاومة البلى موضح بالشكل (14) ويبين أن مقاومة البلى تزداد مع زيادة نسبة الأضافة للزنك ويرجع السبب في ذلك الى ترسب (Al_4Zn_6) اللدن في بلورات السبيكة ومؤدياً الى زيادة قيم مقاومة البلى.

الاستنتاجات

- 1- زيادة نسبة مسحوق الزنك تؤدي الى احتكاك وسحق حبيبات الألمنيوم اللدنة بحبيبات الكربون الصلب والذي يؤدي الى زيادة الكثافة الخضراء بعد الكبس أما الكثافة الظاهرية للمكبوسات فان حبيبات مسحوق الزنك الصلدة تعمل على اعاقلة تمدد الفجوات الغازية وتحد من تكون الفجوات الكبيرة.
- 2- زيادة نسبة مسحوق الزنك يؤدي الى تقليل حجم المسامات ونسبة المسامية في تركيب المكبوسات عن طريق اعاقلة تمدد الفجوات الغازية والمسامات وتكون اطوار صلدة من الألمنيوم والزنك.
- 2- زيادة نسبة مسحوق الزنك يؤدي الى زيادة قيم صلادة فيكرز المايكروية للمكبوسات بسبب تكون الطور الثانوي الصلب (Al_4Zn_6) وكذلك وجود حبيبات مسحوق الزنك المترسبة والتي تعمل على زيادة الصلادة للمكبوسات التي تحتوي على مسحوق الزنك.

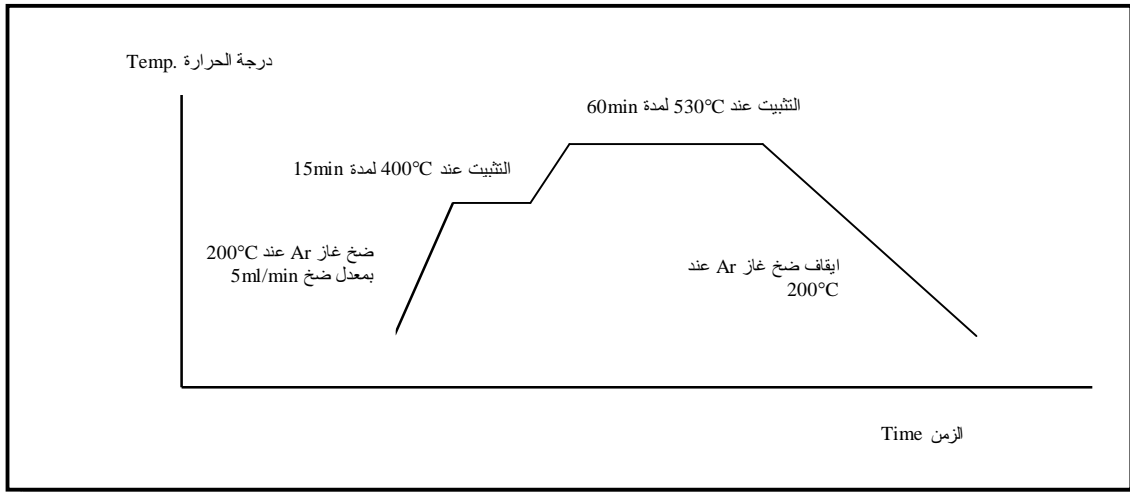
المصادر:

- [1]. L.-Y. Wei: "The Fine Structure of Al-12Si K-Edge in Die Cast Al Base Alloys and the Precipitation in a Cast Mg-Rare Earth Alloy," Final Report, AMTT, Austrian Research Centers, Seibersdorf, 2001.
- [2]. G.V. Raynor: *The Physical Metallurgy of Aluminum, and Its Alloys*, Pergamon Press, Oxford, United Kingdom, 1959.
- [3]. M.O. Pegguleryuz: *Development of Creep Resistant Al-12Si Diecasting Alloys—An Overview*, Noranda Technology Center, Montreal, Quebec, Canada.
- [4]. M.O. Pegguleryuz and J. Renaud: in *2000 Aluminum Technology*, H. Kaplan, J. Hryn, and B. Clow, eds., TMS, Warrendale, PA, 2000, pp. 279-84.
- [5]. M.S. Dargusch, G.L. Dunlop, and K. Pettersen: *Proc. Conf. on Aluminum Alloys and Their Applications*, Werkstoff-Informationsgesellschaft mbH, Wolsburg, Germany, 1998, pp. 77-82.
- [6]. I.P. Moreno, T.K. Nandy, J.W. Jones, J.E. Allison, and T.M. Pollock: *Scripta Mater.*, 2003, pp. 1029-34.
- [7]. W.K. Miller: in *Advances in Aluminum Alloys and Composites*, H. Paris and W.H. Hunt, eds., TMS, Warrendale, PA, 1988, pp. 41-55.
- [8]. B. Bronfin, E. Aghion, F. von Buch, S. Schuman, and H. Friedrich: *Proc. Conf. on Aluminum Alloys and Their Application*, K.U. Kainer, Wolfsburg, Germany, 2003, pp. 55-61.

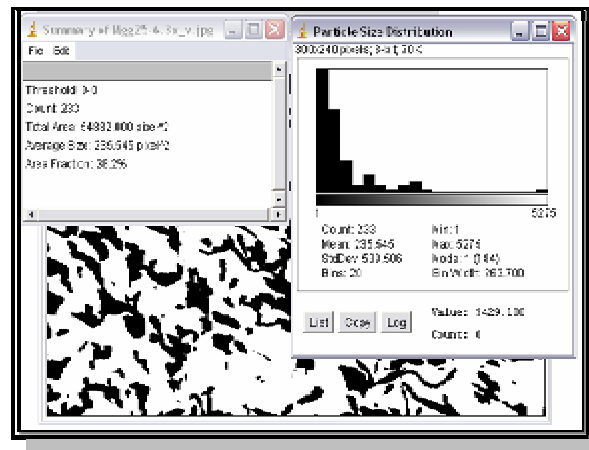
- [9]. P. Labelle, M. Pekgulyuz, D. Argo, and M. Lefebvre: *Temperature Behaviour of AJ52X, Heat Resistant Aluminum Alloy for Power-Train Application*, Noranda Technology Center, Montreal, Quebec, Canada.
- [10]. W. Blum, Y.J. Li, X.H. Zeng, B. von Gromann, C. Habering, and H.G. Haldenwanger: *Proc. Conf. on Aluminum Alloys and Their Application*, K.U. Kainer, Wolfsburg, Germany, 2003, pp. 62-67.
- [11]. Y. Wang, Q. Wang, and C. Ma: *Mater. Sci. Eng.*, 2003, vol. A342, pp. 178-82.
- [12]. M.O. Pekgulyuz: *Proc. Conf. on Al-12SiAlloys and Their Application*, K.U. Kainer, Wolfsburg, Germany, 2003, pp. 74-93.
- [13]. W. Huang, Ch. Dua, Z. Li, M. Liu, W. Liu, Tribological characteristics of Al-12Si-Zn alloy using N-containing compounds as lubricating additives during sliding, *Wear* 260 (2006) 140-148.
- [14]. K. Ishikawa, H. Watanabe, T. Mukaib, High strain rate deformation behavior of an AZ91 Al-12Si-Zn alloy at elevated temperatures, *Materials Letters* 59 (2005) 1511-1515.
- [15]. K. Iwagawa, H. Tashiro, H. Okamoto, K. Shimizu, improvement of formability from room temperature to warm temperature in Aluminum alloy, *Journal of Materials Processing Technology* 155-156 (2004) 1313-1316.
- [16]. K.U. Kainer, *Aluminum – Alloys and Technology*, WileyVH, Weinheim, Germany, 2003.

جدول (1): التركيب الكيميائي للمساحيق المخلوطة.

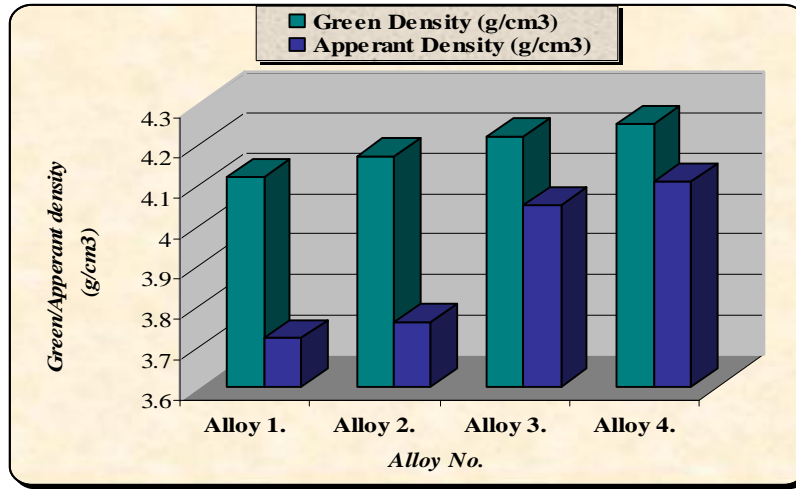
Alloy No.	Al%	Si%	Zn%
Alloy 1	88	12
Alloy 2	83	12	5
Alloy 3	78	12	10
Alloy 4	73	12	15



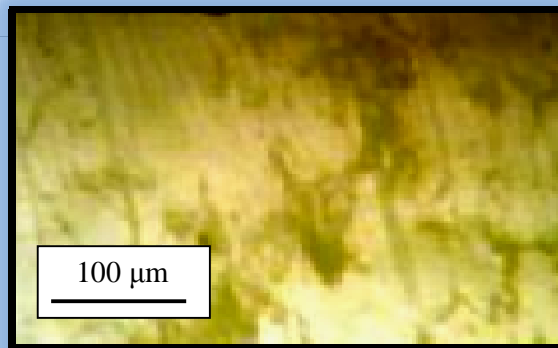
شكل (1): مراحل عملية التلبيد.



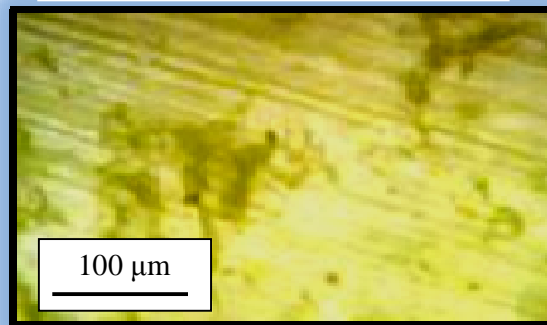
شكل (2): تحليل الصورة الى ثنائية اللون ببرنامج J-Image.



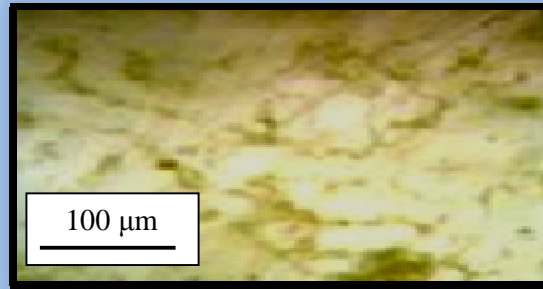
شكل (3): الكثافة الخضراء والظاهرية للعينات قبل وبعد.



شكل (4): يبين التركيب المجهرى لعينة رقم (1)



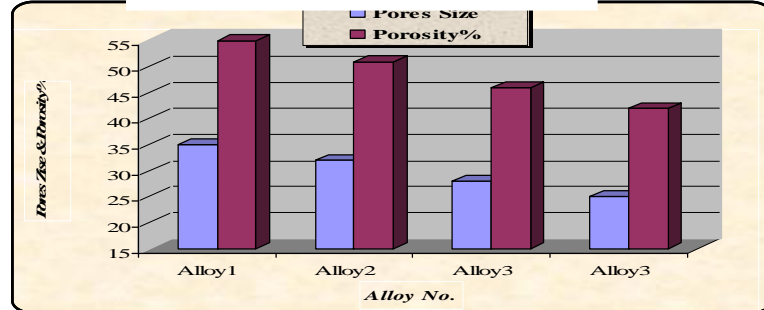
شكل (5): يبين التركيب المجهرى لعينة رقم (2)



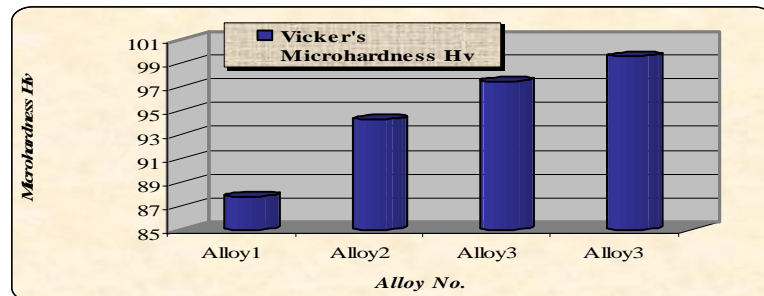
شكل (6): يبين التركيب المجهرى لعينة رقم (3)



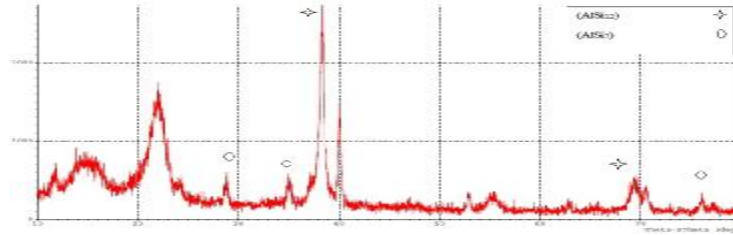
شكل (7): يبين التركيب المجهرى لعينة رقم (4)



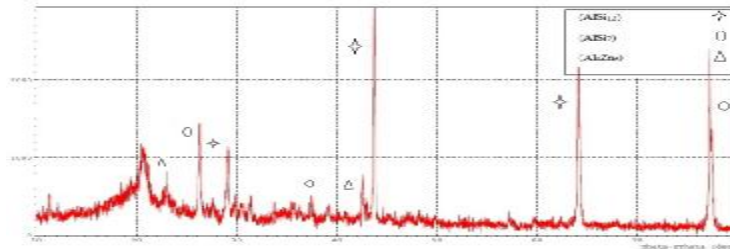
شكل (8): يبين حجم ونسبة المسامات.



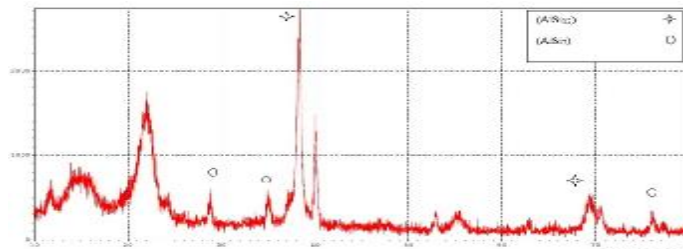
شكل (9): يبين صلادة فيكرز المايكروية للمكبوسات.



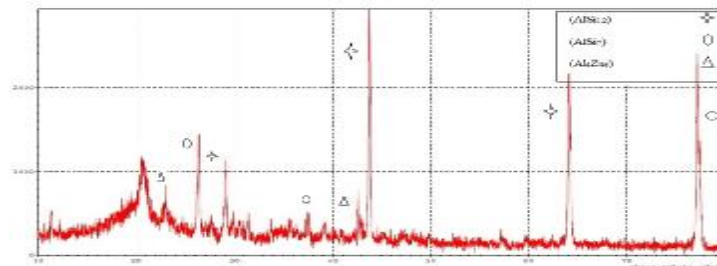
شكل (10): يبين فحص حيود الأشعة السينية لسبيكة (1).



شكل (11): يبين فحص حيود الأشعة السينية لسبيكة (2).



شكل (12): يبين فحص حيود الأشعة السينية لسبيكة (3).



شكل (13): يبين فحص حيود الأشعة السينية لسبيكة (1).