المقدمة: *Introduction*

تعتبر سبائك المغنيسيوم Magnesium من أهم سبائك المواد ذات التراكيب الخفيفة الوزن والتي تستخدم في صناعة السيارات والطائرات .....والخ من الصناعات التي تعتمد على خفة الوزن في تطبيقاتها.[1,2] ولكن لسبائك المغنيسيومMagnesium Alloys محددات كثيرة وخصوصاً مقاومة البلى (Wear Resistance) والمتانة (Toughness) والصلادة (Hardness) التي تكون بصورة عامة منخفضة.[1,3] حيث يعزى إنخفاض الصلادة ومقاومة البلى وكذلك المتانة للمغنيسيوم النقي وللسبائك التجارية-Mg-Al-Mn and Mg-Al Zn systems (AM and AZ alloys respectively). [4] الى طبيعة تكون البلورات أوالحدود البلورية لتلك السبائك نتيجة الى طبيعة الأطوار المتكونة بين المغنيسيوم والالمنيوم والتي تؤدي الى إنخفاض الخواص الميكانيكية Mechanical Properties لتلك السبائك.[2, 5] حيث تعتبر سبائك AZ91 من أهم سبائك المغنيسيوم التي تستخدم في مكائن السيارات والطائرات والتي تعاني من إنخفاض مقاومة البلى والصلادة والتي تعود الى وجود مركب Mn17-Al12 الغير المستقر ضمن أرضية المغنيسيوم والذي يحوي على نسبة عالية من الالمنيوم والذي تكون درجة حرارة إنصهاره منخفضة بحدود (458 °C) لذلك يعتبر هذا المركب منخفض الأستقرارية المعدنية والذي يؤدي الى إنخفاض مقاومة البلى.[5,6] أن تكون هذا الطور الغير مستقر في سبيكة Mg-Al سيؤدي الى مضاعفة مساحة الحدود البلورية والتي ستؤدي الى زيادة البلى.[3,7] حيث لوحظ أنه بزيادة الحدود البلورية الأنزلاقية والتي تحدث وتزداد بزيادة الطور الغير المستقر ضمن أرضية Mg-Al سوف يزداد التشوه نتيجة البلى.[8,9] ولهذا فانه لا تكون كل سبائك المغنيسيوم متطابقة بشكل كامل، فأن ميكانيكية البلى تصبح أكثر تعقيداً في سبائك المغنيسيوم وذلك بسبب تكون الأطوار الثانوية خصوصاً عند معدلات التجمد العالية [10] (مثل السباكة المعدنية Die Casting) وعندما تكون عناصر السبك موجودة بشكل فوق الأشباع في الأرضية.[9,11] ونتيجة لذلك سوف تكون الأطوار المستقرة هي الموجودة والغالبة حتى الوصول الى درجة حرارةالغرفة.[1,10] بالرغم من ذلك فأنه لايمكن ان ينسب الترسيب الحاصل الى عملية التخفيف للسبيكة عند درجة حرارة الغرفة. لذلك تم اللجوء الى إضافة بعض المواد المحسنة ومنها مسحوق الألمومينا Powder (Al_2O_3) الى سبيكة Mg-6Al والتي ستؤدي الى تكوين أطوار مترسبة أخرى لها تعطي مقاومة بلى أعلى من الطور الغير مستقر (Mn17-Al12) ومنها الطور α-Mg والذي يبقى

مستقراً لغاية 1085°C وهذه السبائك تستخدم في تطبيقات الأتصالات وصناعة السيارات. ولكن لهذه السبائك عيب مهم وهو قلة القدرة على التسبيك ولذلك نحتاج الى إضافة مواد أخرى الى السبيكة لتحسين قدرة التسبيك لذلك سيتم إضافة الزنك لزيادة قدرة التسبيك لهذها لسبائك.[7.11] وفي هذا البحث سوف نتطرق الى تأثير إضافة الألومينا على التركيب المجهري الصلادة ومقاومة البلى لسبيكة Mg-Al (AZ63A) عند درجة حرارة الغرفة.[12]

الجزءالعملي: Experimental

تم أخذ المغنيسيوم التجاري النقي بنقاوة (99.95) مع الالمنيوم النقي (99.99) وتم وضع المغنيسيوم مع الالمنيوم (بنسبة 6% من نسبة المغنيسيوم) في بودقة كرافيتية سعة 250غم ووضعت البودقة الكرافيتية في حاوية Container مغلقة ذات فتحتين علوية لخروج غاز الأوكسجين وسفلية لدخول غاز الأركون Argon كما في الشكل (1) ووضعت الحاوية في فرن كهربائي محلي الصنع شكل (2) مربوط الى متحسس حراري Thermocouple "K" type وقارئ رقمي لدرجات الحرارة Reader وسخن الفرن لغاية 250ºC عندها تم ضخ غاز الأركون لمنع تأكسد المغنيسيوم وبعدها تم رفع درجة حرارة الفرن لغاية 250ºC وتركت الحاوية عند هذه الدرجة لمدة ربع ساعة مع الخلط الجيد Stir للسبيكة لضمان التجانس Homogeneous في تركيب السبيكة الناتجة. وبعدها تم إطفاء الفرن وتبريد السبيكة في الفرن حتى تم الوصول الى درجة حرارة 250ºC حيث تم قطع ضخ غاز الأركون عن الحاوية وتم إنتظار وصول السبيكة الى درجة حرارة الغرفة وتم تقطيع السبيكة.

وبعدها تم إضافة مسحوق الألومينا (Al_2O_3) (بحجم حبيبي أقل من 25µ) الى سبيكة Mg-6Al وحسب النسب (3%, 4%, 5%) والتي تكون مغلفة برقائق الالمنيوم Aluminum Foil وتوضع كلها في البودقة داخل الحاوية في الفرن وتكرر عملية السبك السابقة مرة أخرى، حيث وضعت سبيكة مغنيسيوم–المنيوم مع رقائق الالمنيوم الحاوية على مسحوق الألومينا وسخن الفرن لغاية 250°م وبعدها تم ضخ غاز الأركون واستمر التسخين لغاية 750°م وثبتت درجة الحرارة وتمت عملية الخلط اليدوي لمدة نصف ساعة لضمان التوزيع المتجانس لحبيبات مسحوق (Al_2O_3) في تركيب السبيكة.

بعدها تم تبريد السبيكة في الفرن حتى تم الوصول الى درجة حرارة 250°م حيث تم قطع ضخ غاز الأركون عن الحاوية وتم إنتظار وصول السبيكة الى درجة حرارة الغرفة ومن ثم أخرجت المسبوكة من الفرن وتم تقطيعها الى عينات وتم إجراء تحضير

العينات لأجراء فحص التركيب المجهري وفحص الأشعة السينية بتقطيع العينات على شكل أقراص بأبعاد (قطر 20 mm، وسمك 10 mm) وأجريت عملية التنعيم والصقل ومن ثم تم إجراء الأظهار بغمر العينات المصقولة في محلول كلايكول (HNO_3+Eth.) لمدة 30 sec وبعدها تم فحص العينات بالمجهر الضوئي نوع Olympus المبين بالشكل (3) وكذلك فحص الأشعة السينية X-Ray Diffraction. تم إجراء فحص صلادة فيكرز المايكروية (Vickers Microhardness) باستخدام جهاز صيني الصنع وباستخدام ثقل بمقدار (2.9gr) والمبين بالشكل (4).

أما بالنسبة الى البلى فقد تم إجراء فحص مقاومة البلى بإستخدام جهاز بلى محلي الصنع وتم تقطيع وتحضير العينات الواجب فحصها على شكل أقراص بأبعاد (قطر 10mm، سمك 3mm) وكانت سرعة الجهاز أثناء الفحص (1500 r.pm) وتحت حمل (10 Kg) ولمدة (20 min) وكان نصف قطر القرص (9Cm) وتم حساب البلى حسب المعادلة الأتية:[6، 11]

$$K_C = \frac{\Delta m}{\rho_C . V_S . T} = \frac{m_1 - m_2}{\rho_C . V_S . T}$$

حيث أن:

$\mathbf{K_C}$ = معدل البلى للمواد المتراكبة (mm^3/mm).

$\mathbf{\Delta m}$ = الفقدان بالوزن (g).

$\mathbf{\rho_C}$ = كثافة العينة (g/mm^3).

Vs = سرعة الأنزلاق (mm /s).

T = زمن الأنزلاق (s).

النتائج والمناقشة: Results and Discussion

جدول (1) يبين التركيب الكيمياوي Chemical Composition للعينات بعد إتمام عملية الصب، وكما يظهر من التركيب المجهري للعينات أشكال (5,6,7,8) وجود الطور α-Mg وطور يوتكتك β-Mg_{17}-Al_{12} وكذلك طور -Mg_{17} Al_{12} المترسب.أن استقرارية الألومينا ضعيف في طور α-Mg حيث تتجمع الألومينا في طور β-Mg_{17}-Al_{12} خلال التجمد. وبالمقارنة مع سبيكة Mg-6Al الأولية، حيث أن إضافة الألومينا الى هذه السبيكة يقلل من قابلية ذوبان الالمنيوم في طور -β Mg_{17}-Al_{12}.[2,4,13,14] اما بعد إضافة الألومينا سوف يترسب الطور Mg_{17}-Al_{12} إضافة الى تكون الطور -β Mg_{17}-Al_{12} الحاوي على دقائق الألومينا المترسبة داخل الطور، وسوف تترسب الألومينا بنفس الوقت مع تكون أذرع شجيرية من طور α-Mg في المرحلة الأولى من التجمد. ولهذا يعزى وجود مترسبات الألومينا في أذرع شجيرية طور α-Mg الداخلية، لذلك يكون ترابط الألومينا المترسبة في بداية عملية التجمد قوي مع بنية السبيكة، وبناءاً على ذلك ستكون نسبة قليلة من الالمنيوم ستدفع بإتجاه تكون طور الأنصهاري β-Mg_{17}-Al_{12}.[15,16] ومن خلال فحص الصلادة بجهاز فحص صلادة فيكرز المايكروية والموضحة نتائجه بالجدول (2) والشكل (9) يتبين زيادة في الصلادة مع زيادة نسبة إضافة الألومينا الى سبيكة Mg-6Al، ويرجع السبب في ذلك الى نقصان ترسب طور Mg_{17}-Al_{12} وكذلك الى ترسب الألومينا على الحدود البلورية لطور β-Mg_{17}-Al_{12} وفي الأذرع الشجيرية للطور Mg_{17}-Al_{12} المترسب خلال عملية الصب. حيث تدفع حبيبات الألومينا المترسبة الى زيادة صلادة الحدود البلورية للأطوار المتكونة والمترسبة خلال عملية التجمد للسبيكة الحاوية على حبيبات الألومينا وتزداد هذه الحبيبات بالترسب لغاية نسبة إضافة 5%.[12.17] نفس الحال يكون بالنسبة الى مقاومة البلى حيث يوضح الجدول (3) والشكل (10) قراءات الفحص للعينات ويبين أن مقاومة البلى تزداد مع زيادة نسبة الأضافة لمسحوق الألومينا ويرجع السبب في ذلك الى ترسب حبيبات الألومينا على الحدود البلورية وفي الأطوار المترسبة للسبيكة أثناء عملية التجمد.[5.7.9.18]

الاستنتاجات: Conclusions

1- ظهور حبيبات الألومينا المترسبة في الطورين α-Mg و β-Mg_{17}-Al_{12} يزداد بزيادة نسبة إضافة الألومينا، وهذا يقلل من نسبة ترسب الطور Mg_{17}-Al_{12} الهش.

2- بزيادة نسبة ترسب حبيبات الألومينا تزداد صلادة فيكرز المايكروية للمسبوكات.

3- بزيادة نسبة ترسب حبيبات الألومينا تزداد مقاومة البلى للمسبوكات والذي يعود الى نقصان ترسب الطور $Mg_{17}Al_{12}$ الهش لحساب حبيبات الألومينا الصلدة والقوية.

References المصادر

1. L.-Y. Wei: "The Fine Structure of Mg K-Edge in Die Cast Mg-AlBase Alloys and the Precipitation in a Cast Mg-Rare Earth Alloy," Final Report, AMTT, Austrian Research Centers, Seibersdorf, 2001.

2. F. Cus, U. Zuperl, V. Gecevska, High speed milling of light metals, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 24/1 (2007) 357-364.

3. M.O. Pekguleryuz: *Development of Creep Resistant Magnesium Diecasting Alloys—An Overview*, Noranda Technology Center, Montreal, Quebec, Canada, 2001.

4. M.O. Pekguleryuz and J. Renaud: in *2000 Magnesium 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 Magnesium Alloys and Their Applications*, Werkstoff-Informationsgesellschaft mbH, Wolsburg, Germany, 1998, pp. 77-82.

6. J.H. Soko, Mechanical properties of Mg alloys, Journal of Achievements in Materials, 2008.

7. W.K. Miller: in *Advances in Magnesium 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 Magnesium Alloys and Their Application*, K.U. Kainer, Wolfsburg, Germany, 2003, pp. 55-61.

9. P. Labelle, M. Pekgularyuz, D. Argo, and M. Lefebvre: *Temperature Behaviour of AJ52X, Heat Resistant Magnesium Alloy for Power-Train Application*, Noranda Technology Center, Montreal, Quebec, Canada.

10. W. Blum, Y.J. Li, X.H. Zeng, B. von Gromann, C. Haberling, and H.G. Haldenwanger: *Proc. Conf. on Magnesium Alloys and Their Application*, K.U. Kainer, Wolfsburg, Germany, 2003, pp. 62-67.

11. A. Bahrami, H.R. Madaah Hussein, P. Abacji, S. Miraghaei, Structural and soft electric properties of Mg-Al alloy Powders prepared by mechanical alloying, Materials Letters 60 (2006) 1068-1070. 5

12. M.O. Pekguleryuz: *Proc. Conf. on Magnesium Alloys and Their Application*, K.U. Kainer, Wolfsburg, Germany, 2003, pp. 74-93.

13. W. Huanga, Ch. Dua, Z. Li, M. Liu, W. Liu, Tribological characteristics of magnesium alloy using N-containing compounds as lubricating additives during sliding, Wear 260 (2006) 140-148.

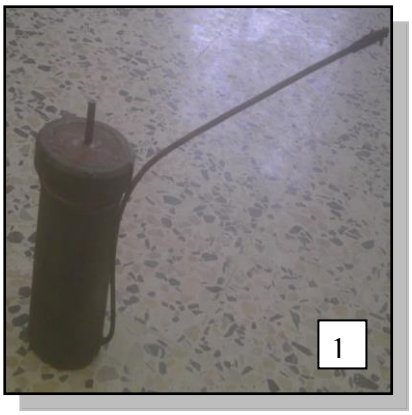
14. K. Ishikawa, H. Watanabea, T. Mukaib, High strain rate deformation behavior of an AZ91 magnesium alloy at elevated temperatures, Materials Letters 59 (2005) 15111515.

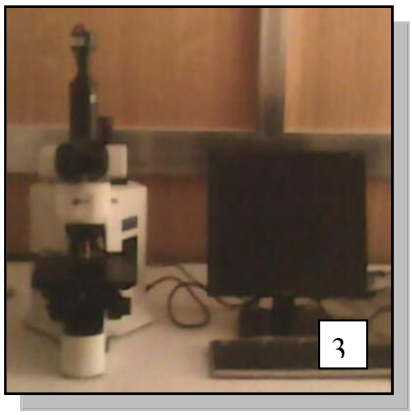
15. K . I w a n a g a, H . T a shi r o , H. Okamoto, K. Shimizu, Improvement of formability from room temperature to warm temperature in AZ31 magnesium alloy, Journal of Materials Processing Technology 155-156 (2004) 1313-1316.

16. K.U. Kainer, Magnesium – A lloys and Technology, WileyVH, Weinheim, Germany, 2003.

17. A. Kie, Mg-Al light weight materials noranda Technology Center, Montreal, Quebec, Canada, 2006.

18. J. Szajnar, T. Wróbel, Inoculation of aluminum with titanium and boron addition, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 23/1 (2007) 51-54.



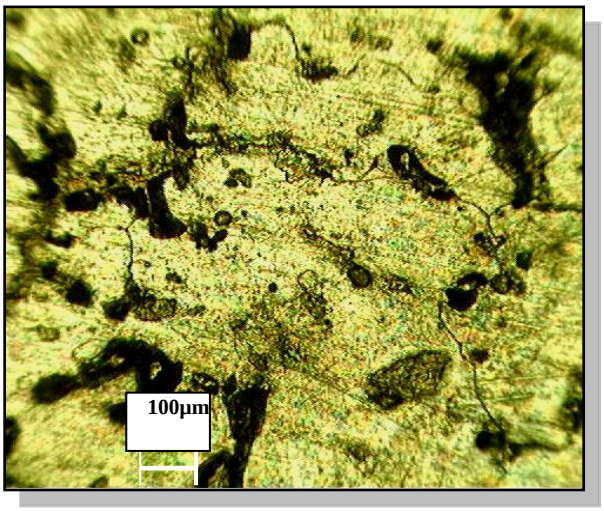


شكل (1): يبين الحاوية التي وضعت بها البودقة شكل (2): يبين الفرن الكهربائي المحلي شكل (3): يبين المجهر الضوئي

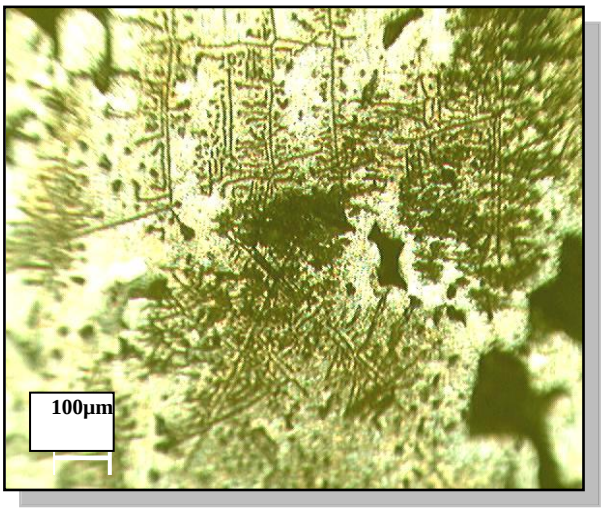
شكل (4): يبين جهاز فحص الصلادة

جدول (1): يبين التركيب الكيمياوي لسبيكة AZ63A.

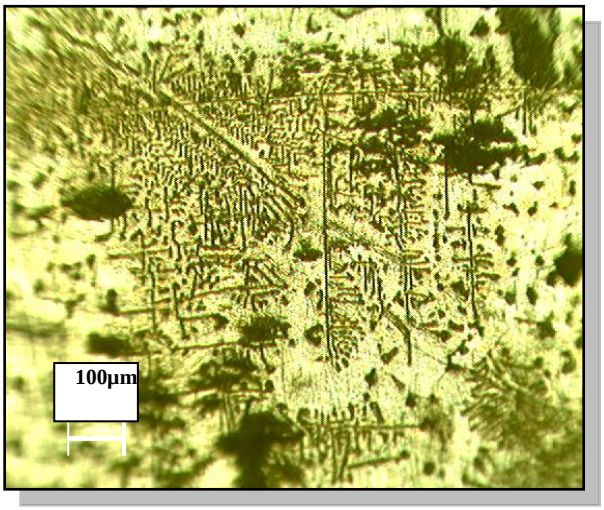
Mg Alloy	Al wt.%	Mn wt.%	Zn wt.%	Others wt.%
AZ63A	6.0	0.2	3.0	0.13

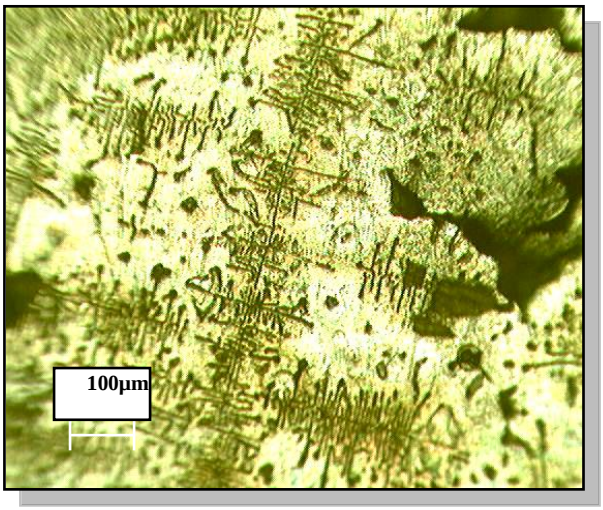


شكل (5): يبين التركيب المجهري لسبيكة Mg-

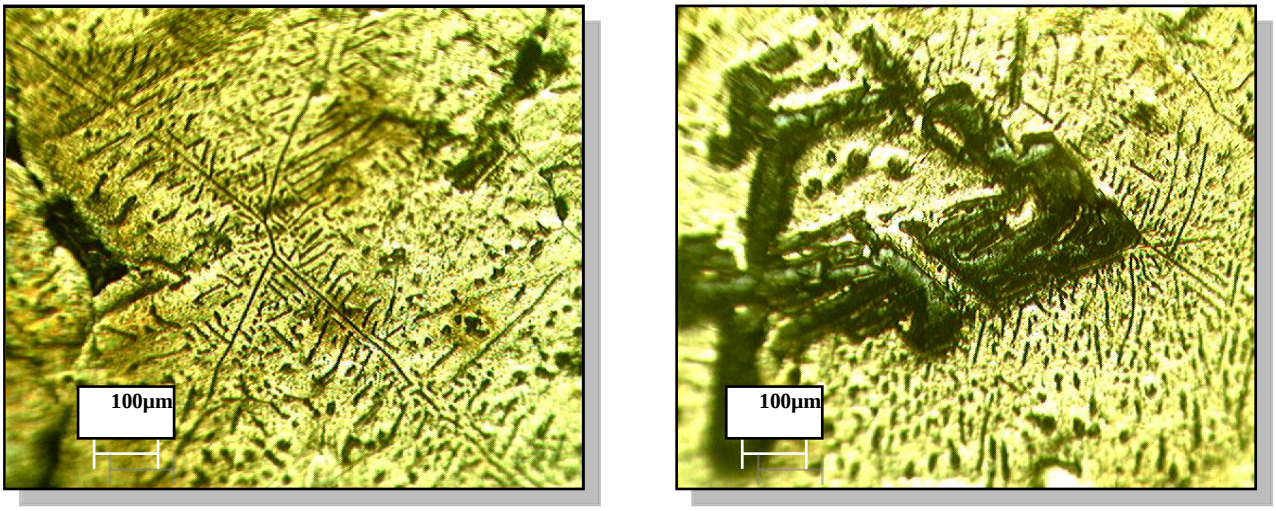


شكل (6): يبين التركيب المجهري لسبيكة Mg-6Al-3Al_2O_3

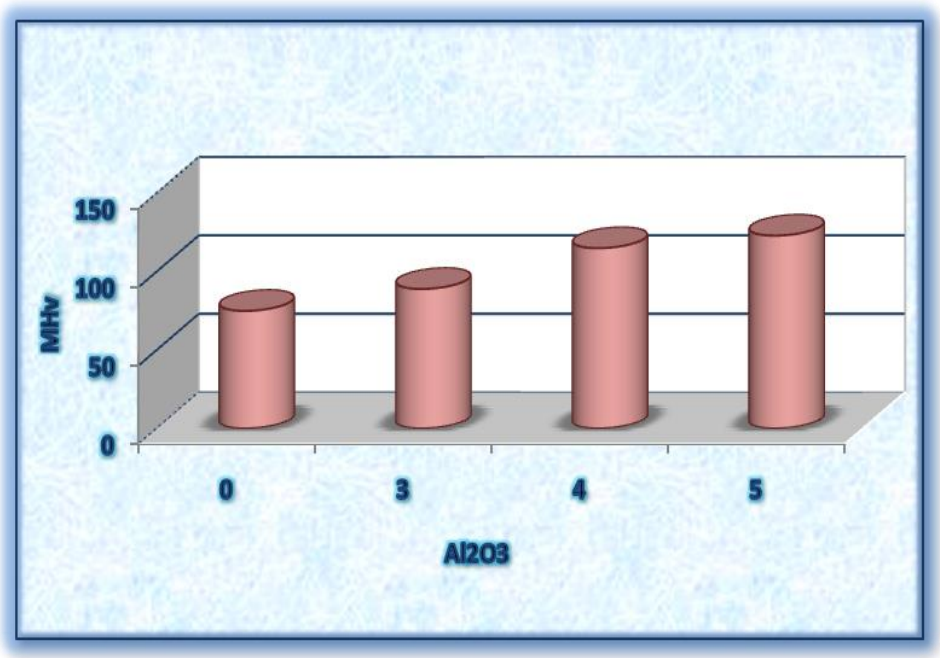




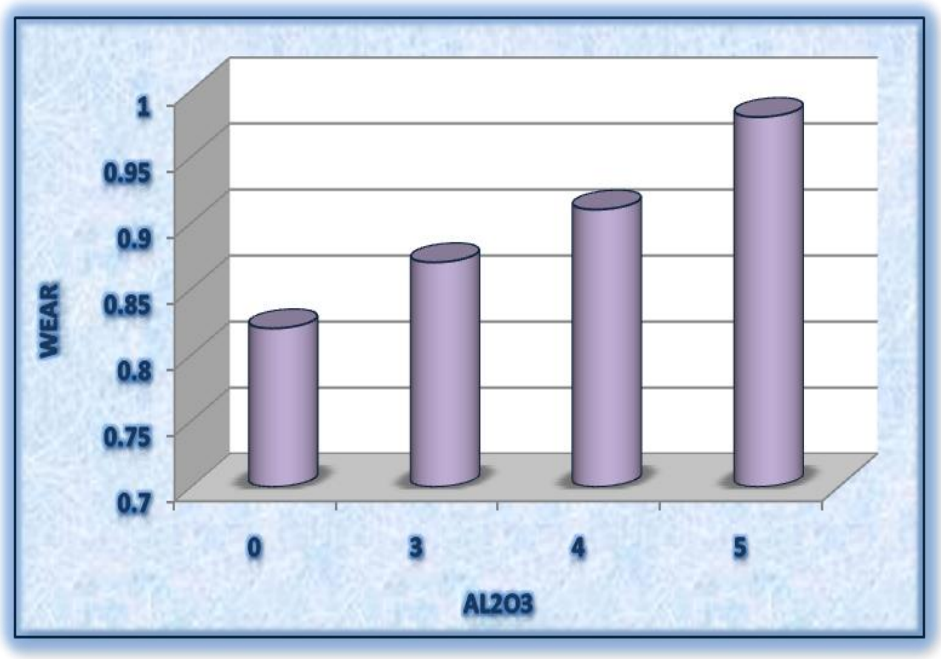
شكل (7): يبين التركيب المجهري لسبيكة Mg-6Al-4Al_2O_3



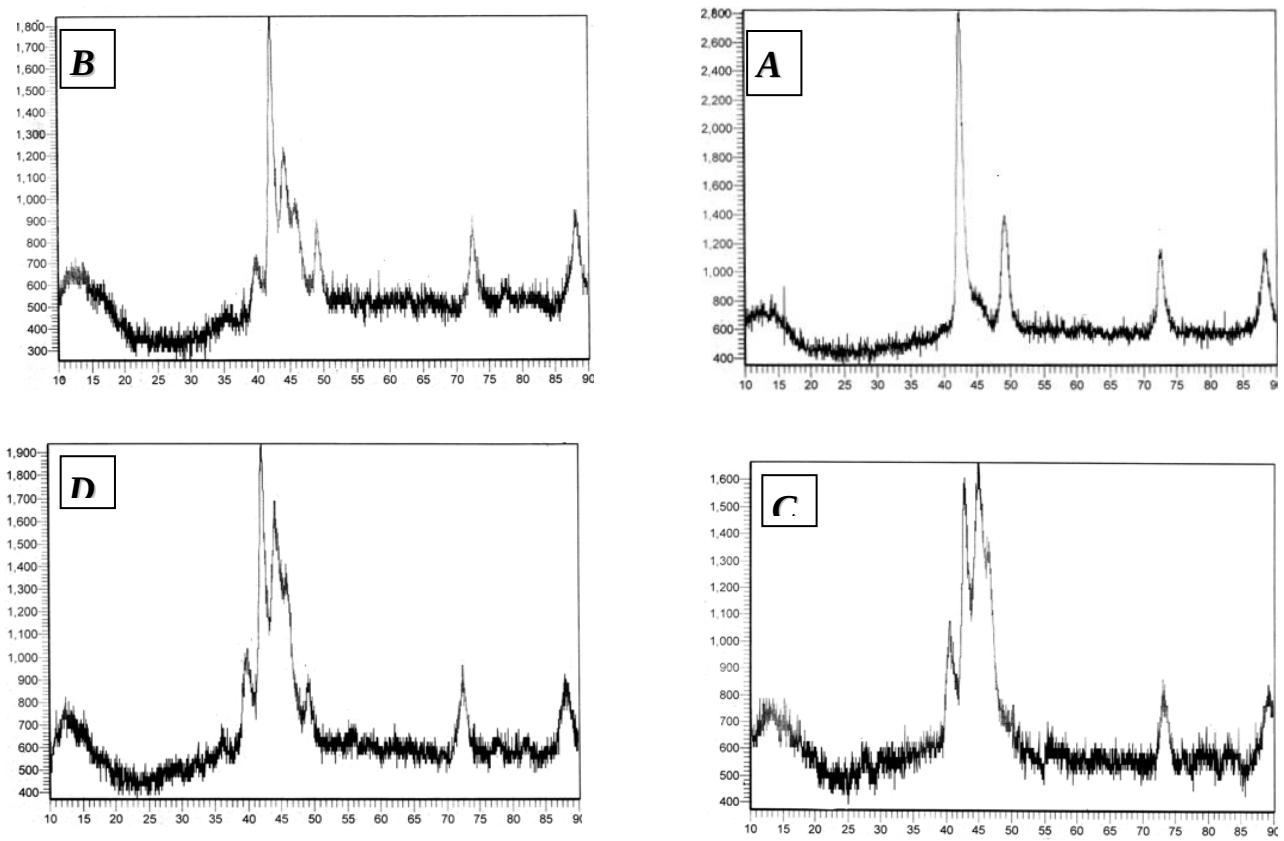
شكل (8): يبين التركيب المجهري لسبيكة $Mg\text{-}6Al\text{-}5Al_2O_3$



شكل (9): يبين تأثير إضافة الألومينا على معدل الصلادة سبيكة Mg-6Al



شكل (10): يبين تأثير إضافة الألومينا على معدل البلى سبيكة Mg-6Al



شكل (11): يبين نتائج فحص X-Ray Diffraction ، (A): لسبيكة Mg-6Al
(B): لسبيكة $Mg\text{-}6Al\text{-}3Al_2O_3$، (C): لسبيكة $Mg\text{-}6Al\text{-}4Al_2O_3$
(D): لسبيكة $Mg\text{-}6Al\text{-}5Al_2O_3$.