

Effect of Addition Alloying Elements (Nickel and Cadmium) on Mechanical Properties of Al-Zn-Mg Alloy

Waleed T.Rashid

Production and Metallurgy Engineering Department, University Technology/Baghdad

Email: waleed_eng99@yahoo.com

Received on:4/2/2014 & Accepted on :5/6/2014

ABSTRACT:

This work is concerned to study effect of addition the cadmium and nickel on mechanical properties of Al-Zn-Mg alloy. Three alloys were prepared with addition cadmium and nickel (0.5%wt) for each one alloy and added the nickel and cadmium in form combined of percentage (1%wt), as well as to base alloy. The alloys were prepared by melting and pouring in metallic mold. Many inspection and tests have been done such as microstructure, hardness , tensile test and wear test. The results show that addition of cadmium and nickel improved the mechanical properties of Al-Zn-Mg alloy, where they increase the hardness (from 58.4 to 86.92 kg/mm²), tensile strength (from 87 to 107 Mpa) ,yield strength(from 32 to 54 Mpa), and decrease the wear rate(from 28 to 15.6x10⁻⁷g/cm) and ductility (from 12 to 8.5%) and microstructure refined .Effect of nickel was more than cadmium, while the addition of nickel and cadmium together improved on improvement the mechanical properties more in comparison with the others alloy.

Keyword: Al-Zn-Mg alloy, nickel and cadmium, mechanical properties ,individual, combined.

تأثير إضافة العناصر السبائكية (النيكل والكاديوم) على الخواص الميكانيكية لسبيكة (ألومنيوم- زنك- مغنيسيوم)

الخلاصة:

يتناول هذا البحث دراسة تأثير إضافة الكاديوم والنيكل على الخواص الميكانيكية لسبيكة Al-Zn-Mg. وقد تم تحضير ثلاث سبائك بإضافة عنصر الكاديوم والنيكل (0.5%) كل على حدة وتم إضافة النيكل والكاديوم بشكل مشترك ونسبة (1%) بالإضافة إلى السبيكة الأساس . وقد تم تحضير هذه السبائك بعملية الصهر والصب في قالب معدني . وقد أجري عدد من الفحوصات والاختبارات منها فحص البنية المجهرية وفحص الصلادة واختبار الشد واختبار البلي. وقد أظهرت النتائج أن إضافة النيكل والكاديوم تحسن من الخواص الميكانيكية لسبيكة Al-Zn-Mg حيث ازدادت الصلادة (من 58.4 إلى 86.92 kg/mm²) ومقاومة الشد (من 87 إلى 107Mpa) ومقاومة

الخصوع (من 32 إلى 54 Mpa) وأنخفض معدل البلى (من 28×10^{-7} إلى 15.6×10^{-7}) والمطيلية (من 12% إلى 8.5 %) بالإضافة إلى تنعيم البنية المجهرية ووجد أن تأثير النيكل أكبر من تأثير الكاديوم أما زيادة نسبة النيكل والكاديوم وإضافتهما معاً فقد عملت على تحسين الخواص الميكانيكية بشكل كبير مقارنة مع السبائك الأخرى .

المقدمة :

تستخدم سبائك الألمنيوم بشكل واسع في صناعة السيارات والطائرات والصناعات المعدنية والكثير من العمليات التصنيعية الحديثة ويعود ذلك للخواص المميزة التي تمتلكها سبائك الألمنيوم مثل الكثافة المنخفضة والقابلية الجيدة للتشغيل على المكائن والكلفة المنخفضة بالمقارنة مع المعادن الأخرى، والتوصيلية الحرارية والكهربائية العالية بالإضافة إلى المقاومة العالية نسبة إلى الوزن، وعلى كل حال إن الألمنيوم وسبائكه يفتقرون إلى بعض الخواص التي تتطلب مقاومة وصلادة عالية مثل البلى ومقاومة الشد، وبما أن خواص الألمنيوم وسبائكه تعتمد على العناصر الداخلة في تركيب هذه السبائك مثل المغنسيوم والنحاس والسليكون والزنك و النيكل وعناصر أخرى لذا يمكن تحسين الخواص الميكانيكية والخواص الكيميائية بإضافة بعض من هذه العناصر إلى سبائك الألمنيوم [1]. ومن أهم سبائك الألمنيوم سبائك سلسلة 7xxx الحاوية على الزنك عنصراً رئيسياً بالإضافة إلى المغنسيوم والنحاس، حيث تضيف هذه العناصر الخواص الجيدة لهذه السبيكة ويمكن تحسين خواص هذه السبيكة باستعمال المعاملات الحرارية كونها من السبائك القابلة للتعامل الحراري أو إضافة بعض العناصر السبائكية. وللعناصر السبائكية تأثير كبير على خواص سبائك الألمنيوم سواء كان هذا التأثير سلبياً أو إيجابياً. فإن إضافة السليكون مثلاً يزيد من صلادة السبيكة ويحسن من مقاومة البلى والاحتكاك ويقلل من معامل التمدد الحراري ولكنه يقلل من خاصية التشغيل على المكائن. أما النحاس فإضافته تزيد من مقاومة وصلادة سبائك الألمنيوم وتزيد من مقاومة الشد عند وجوده بنسب تصل إلى (1.5%) وكذلك يرفع من إمكانية المعالجة الحرارية للسبيكة ومن الجانب الآخر فللنحاس تأثير سلبي على مقاومة التآكل للسبيكة وخواص اللحام . أما المغنسيوم فيعمل على تحسين خواص التصليد الانفعالي ويحسن من مقاومة التآكل وقابلية اللحام لسبائك الألمنيوم [2]. أما عنصر التيتانيوم فله تأثير إيجابي على البنية البلورية حيث يعمل على تنعيم البنية وبالتالي يحسن من الخواص الميكانيكية لسبائك الألمنيوم بالإضافة إلى تأثيره في تحسين مقاومة التآكل عند احتواء السبيكة على نسب عالية منه ولكن عند زيادة نسب إضافته عن الحد المقبول يكون له تأثير سلبي على قابلية السباكة [3]. أما عنصر الكاديوم فهو عنصر منخفض الذوبانية في سبائك الألمنيوم وقد تصل نسبة ذوبانه 0.3% وتتم إضافته إلى سبائك الألمنيوم حيث يعمل على تحسين الصلادة وزيادة مقاومة التآكل وعند إضافته بنسب (0.05-0.5%) إلى سبيكة Al-Zn-Mg يعمل الكاديوم على تقليل وقت التعتيق لهذه السبائك [4]. أما عنصر النيكل عند إضافته بنسب أعلى من 2% يعمل على زيادة المقاومة الميكانيكية ويقلل من مطيليه الألمنيوم عالي النقاوة وإن أعلى ذوبانية للنيكل في الألمنيوم تصل إلى (0.04%) عند الحالة الصلبة وعندما تكون نسبة النيكل أعلى من نسبة ذوبانه في الألمنيوم فإنه سوف يتواجد كمتمصنات غير ذائبة [5].

وبسبب الخواص المميزة التي تمتلكها سبائك الألمنيوم ذات السلسلة 7xxx تشجع الكثير من الباحثين على دراسة خواص سبيكة Al-Zn-Mg.

في عام 2000 [6]. درس الباحثان S.W.Nam , D.H.Lee تأثير إضافة عنصر المنغنيز على سبيكة Al-Zn-Mg-Cu حيث كانت نسب الإضافة (0.2-1.2%Mn) ووجد الباحثان أن مقاومة الشد ومقاومة الخصوع تزداد بشكل تدريجي مع زيادة نسب أضافه المنغنيز أما بالنسبة إلى المطيلية فإنها تنخفض تدريجياً مع إضافة المنغنيز.

وفي عام 2009 [7]. درس الباحث A.K.Chaubey وآخرون تأثير إضافة نسب قليلة من السيريوم على الخواص الميكانيكية لسبيكة Al-Zn-Mg-Cu وكانت نسب الإضافة (0.1-0.4%Ce) وجد الباحثون أن الخواص الميكانيكية تتحسن مع إضافة السيريوم حيث تؤدي الإضافة إلى

تنعيم الحبيبات مع تحسين مقاومة الشد ومقاومة الخضوع أما الاستطالة فتتخفض مع زيادة نسبة الإضافة ووجدوا أن أفضل خواص تم الحصول عليها عند نسبة إضافة (0.3%Ce). وفي عام 2010 [8]. درس الباحث Muna K. Abbass تأثير إضافة عنصر الكاديوم على معدل البلى الجاف لسبيكة (Al-12%Si)، وكانت الإضافة (1,2,3%wt Cd). ووجد الباحث إن معدل البلى ينخفض مع زيادة نسبة الكاديوم المضاف إلى السبيكة. وفي عام 2012 [1]. درس الباحث Lucky Agrawal وآخرون تأثير إضافة المغنيسيوم على الخواص الميكانيكية لسبيكة Al-Zn-Mg-Cu حيث وجد الباحثون أن بإضافة المغنيسيوم مع وجود الزنك تتحسن خاصية الشد بشكل كبير ومع زيادة نسبة المغنيسيوم تنخفض الاستطالة لسبيكة الألمنيوم كذلك له تأثير قليل على الصلادة حيث تزداد الصلادة مع زيادة نسب المغنيسيوم ولكن بنسبة قليلة. وفي عام 2014 [9]. درس الباحث Haider T. Naeem وآخرون تأثير إضافة النيكل والقصدير على الخواص الميكانيكية لسبيكة Al-Zn-Mg-Cu، حيث وجد الباحثون أن إضافة النيكل تحسن الخواص الميكانيكية، حيث تزداد الصلادة ومقاومة الشد ومقاومة الخضوع وتزداد الخواص الميكانيكية أكثر بإضافة القصدير والنيكل مع إجراء المعاملة المحلولية للسبيكة. في هذا البحث تم دراسة تأثير إضافة الكاديوم والنيكل على الخواص الميكانيكية ومعدل البلى والبنية المجهرية لسبيكة Al-Zn-Mg.

Experimental work

Preparation of alloys

لتحضير السبائك المستخدمة في هذا البحث تم صهر السبيكة الأساس (Al-Zn-Mg) إلى درجة الحرارة 700°C وبعد انصهار السبيكة بشكل تام تم إضافة العناصر السبائكية وحسب النسب الوزنية حيث تم إضافة 0.5%Cd بعد تغليفه بواسطة رقائق الألمنيوم النقي لمنع تأكسده للحصول على سبيكة (Al-Zn-Mg+0.5%Cd). تم تكرار العملية مع السبائك الأخرى حيث تم إضافة عنصر النيكل بنسبة 0.5 %Ni للحصول على سبيكة (Al-Zn-Mg+0.5%Ni) وأخيراً تم إضافة النيكل والكاديوم بشكل مشترك وبنسبة 1% للحصول على سبيكة (Al-Zn-Mg+1%Ni+1%Cd)، وبعد التأكد من انصهار السبيكة والعناصر المضافة تم صب المعدن المنصهر إلى قالب من الفولاذ والمسخن مسبقاً إلى درجة حرارة 250°C وذلك لتقليل معدل التبريد المفاجئ والرطوبة، وبعد ذلك تم الحصول على عينات اسطوانية ذات قطر (15mm) وارتفاع (100mm). والجدول رقم (1) يوضح التركيب الكيميائي لسبيكة الأساس والسبائك المحضرة بعد عملية السباكة مباشرة.

Microhardness

and microstructure examination

تم تحضير نماذج من السبيكة الأساس والسبائك المحضرة لإجراء الفحص المجهرى وقياس الصلادة وذلك بإجراء عملية التنعيم الرطب بالماء وباستخدام أوراق التنعيم وبدرجات مختلفة (1000,500,320,220) ثم الغسل بالماء والكحول والتجفيف ثم إجراء عملية الصقل باستعمال قماش صقل خاص مع محلول الألومينا وبحجم حبيبي (0.5 μm) تم إجراء عملية الغسل بالماء والكحول ثم التجفيف. وبعد ذلك تم إجراء عملية الإظهار باستخدام محلول إظهار (1%HF+99%H₂O) ولمدة (20 sec) ثم إجراء الفحص المجهرى باستخدام مجهر ضوئي مجهز بحاسوب وكاميرا ضوئية. وقد تم قياس الصلادة باستخدام طريقة فيكرز وباستخدام حمل مقداره (400gm) ولمدة (15sec) وتم أخذ ثلاثة قراءات لكل نموذج ثم أخذ معدل القراءات.

Tensile test

تم تحضير العينات المستخدمة في اختبار الشد بالتشغيل الميكانيكي للحصول على عينات قياسية على وفق المواصفة القياسية (ASTM-E8M) [10]. كما في شكل (1) الذي يوضح الأبعاد القياسية

اختبار الشد

لعينة الشد وكان الجهاز المستعمل نوع (Instron Universal Machine) وبسعة (2.5 ton) وبسرعة (1mm/min) وكان فحص كل العينات بدرجة حرارة الغرفة.

Dry sliding wear test

اختبار البلى الانزلاقي الجاف

تم استعمال جهاز البلى من نوع المسمار على القرص (Pin-on-Disk) والمبين في شكل رقم (2). تم استخدام قرص من الصلب الكربوني ذي صلادة 35HRC ويدور بسرعة دوران 510rpm. اجري الفحص بعد تثبيت مسافة الانزلاق 7cm وكانت سرعة الانزلاق 2.7m/sec. وكان الحمل 7.5N وتم قياس وزن العينة قبل الاختبار وبعده باستخدام ميزان كهربائي ذي دقة قياس 0.0001gm. وكانت أبعاد العينة المستخدمة في اختبار البلى، الارتفاع (20mm) والقطر (10mm). واستخدمت العلاقة التالية لحساب معدل البلى [8].

$$\text{Wear rate} = \frac{\Delta w}{2\pi n r t} \quad \dots (1)$$

حيث أن:

Δw : وزن العينة قبل الاختبار ناقصاً وزن العينة بعد الاختبار (gm)
 r : نصف قطر مركز الدوران للقرص (cm)
 n : سرعة دوران القرص (rpm)
 t : زمن الاختبار (20min).

(X-Ray Diffraction Test)

فحص حيود الأشعة السينية

تم إجراء فحص حيود الأشعة السينية لغرض معرفة الأطوار الناتجة في السبيكة الأساس والسبائك المحضرة، حيث تم إجراء الفحص في وزارة العلوم والتكنولوجيا باستخدام جهاز حيود الأشعة السينية نوع (XRD-6000 Shimadzu) والمجهز بفولتية مقدارها (40 KV) والتيار المار في أنبوبة الأشعة السينية (30 mA). إن جميع فحوصات حيود الأشعة السينية كانت عند درجة حرارة الغرفة وبمدى زوايا بمقدار 2θ (20°-80°).

Determine of average particles size

حساب معدل حجم الحبيبات

تم استخدام برنامج حاسوبي (Image-J) من أجل ملاحظة التتبع الحاصل في حجم الحبيبات نتيجة إضافة عنصري النيكل والكاديوم إلى سبيكة الأساس. ويعتمد مبدأ عمل البرنامج على تثبيت وحدة القياس على وحدة (μm) وإدخال معدل التكبير المأخوذ من سلايد مايكروبي بعد تحويل الصورة إلى أحادية اللون كما موضح في شكل (3).

Results and discussion

النتائج والمناقشة

Results of microstructure examination

نتائج فحص البنية المجهرية

الشكل (4) يوضح البنية المجهرية للسبيكة الأساس والسبائك المحضرة، حيث يلاحظ أن السبيكة الأساس (A1) تتكون من بلورات كبيرة الحجم وبإضافة الكاديوم (A2) والنيكل (A3) نلاحظ أن البنية المجهرية تتغير من بلورات خشنة إلى بلورات ناعمة أما عند إضافة النيكل والكاديوم معاً وبزيادة نسبتهما فنجد أن البنية تصبح ذات بلورات ناعمة جداً. ويعود تحول البلورات كبيرة الحجم إلى بلورات ناعمة إلى إضافة النيكل والكاديوم حيث إن إضافة النيكل والكاديوم بنسبة أعلى من حد الذوبانية والتي تكون نسبة ذوبان النيكل في الألمنيوم (0.04%) أما الكاديوم (0.3%)، سوف تترسب الدقائق في الأرضية وتعمل كمراكز تخليق أي تنويه وبالتالي تصبح البنية أكثر نعومة. ولأن الدقائق التي لها تركيب بلوريا مماثل للألمنيوم (F.C.C) (له طاقة سطحية قليلة) تكون فعاليتها لعملية التنويه

أكبر عند درجة حرارة التجمد وكلما ازداد عدد الأنوية فإن الحجم الحبيبي يكون أنعم أي إن التناسب عكسي [11]. مما يؤدي إلى زيادة متانة السبيكة وزيادة خواصها الميكانيكية.

Results of Macro hardness test

نتائج اختبار الصلادة

الشكل (5) يوضح اختبار الصلادة لجميع السبائك والتأثير المنفرد والمشارك للنikel والكاديوم، حيث نلاحظ أن صلادة سبيكة الأساس (A1) تزداد مع إضافة النikel والكاديوم إضافة منفردة حيث نجد أن النikel له تأثير أكبر من الكاديوم على الصلادة أما التأثير المشترك نجد أن إضافة النikel والكاديوم معاً للسبيكة الأساس وزيادة نسبة إضافتهما تزيدها الصلادة إلى أعلى قيمة لها، ويعود سبب زيادة الصلادة إلى ترسيب النikel والكاديوم كدقائق غير ذائبة في أرضية السبيكة الأساس والتي تعمل على إعاقة الانخلاعات، ولكي تمر الانخلاعة خلال الدقائق فإن الإجهاد يجب أن يكون كافياً [12]. وبالتالي فإن ذلك سوف يتطلب زيادة الحمل المسلط وهذا يعني زيادة قيم الصلادة وزيادة الخواص الميكانيكية.

Results of Tensile test

نتائج اختبار الشد

الشكل (6) يوضح تأثير إضافة النikel والكاديوم على مقاومة الشد ومقاومة الخضوع والمطيلية للسبيكة الأساس والسبائك المحضرة. نلاحظ أن السبيكة الأساس (A1) تمتلك أقل مقاومة شد ومقاومة خضوع، وبإضافة الكاديوم (A2) والنikel (A3) تتحسن الخواص الميكانيكية للسبيكة الأساس، ويكون للنikel أكثر تأثيراً على تحسن الخواص الميكانيكية وتصل مقاومة الشد ومقاومة الخضوع إلى أعلى قيمة لها عند إضافة النikel والكاديوم معاً (A4)، وهذا يعود إلى وجود النikel والكاديوم بشكل دقائق غير ذائبة داخل أرضية السبيكة الأساس وتعمل هذه الدقائق على إعاقة حركة الانخلاعات مما يزيد من مقاومة السبيكة للتشويه اللدن فتزداد الصلادة، بالإضافة إلى أن وجود هذه الدقائق يساهم في تنعيم البنية المجهرية وبذلك تصبح السبيكة أكثر متانة وذات خواص ميكانيكية عالية [13, 14]. أما بالنسبة للمطيلية فنجد أن إضافة النikel والكاديوم تعمل على انخفاض المطيلية وتصل إلى أقل قيمة لها عند زيادة نسبت إضافتهما من النikel والكاديوم وإضافتهما معاً، ويعود ذلك إلى زيادة صلادة السبائك مع إضافة النikel والكاديوم كما أثبت فحص الصلادة.

Results wear test

نتائج اختبار البلى

الشكل (7) يوضح التأثير المنفرد والمشارك للنikel والكاديوم على معدل البلى، حيث نلاحظ أن جميع السبائك تعاني من البلى ولكن نجد أن السبيكة الأساس (A1) تمتلك أكبر قيمة لمعدل البلى وهذا بسبب ليونة سبائك الألمنيوم أما بإضافة الكاديوم (A2) فنجد أن معدل البلى ينخفض وبإضافة النikel (A3) أيضاً يلاحظ انخفاض معدل البلى بشكل أكبر، أما بزيادة نسبة الإضافة من النikel والكاديوم وإضافتهما معاً (A4) فنجد أن معدل البلى ينخفض إلى أقل قيمة له مقارنة مع السبائك الأخرى. ويعود انخفاض معدل البلى مع إضافة النikel والكاديوم سواء كانت الإضافة منفردة أو مشتركة إلى زيادة صلادة السبيكة وهذا ما أثبتته اختبار الصلادة بالإضافة إلى وجود دقائق مترسبة من النikel والكاديوم في أرضية السبيكة والتي تعمل على التقليل من مساحة التلامس بين أرضية السبيكة الضعيفة والقرص الصلب [8]. ولهذا نجد أن بزيادة نسبة النikel والكاديوم وإضافتهما معاً أن معدل البلى ينخفض إلى أقل قيمة له.

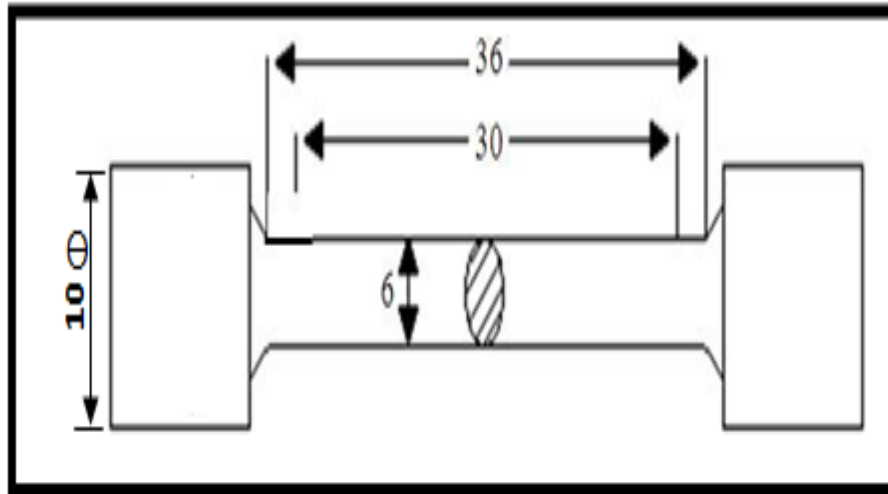
جدول (1) التحليل الكيميائي للسبيكة الأساس والسبائك المحضرة

Alloys (wt%)	Sam .No	%Si	%Fe	Cu %	Mn %	Mg %	%Cr	%Ni	Zn %	Cd %	Al
Al-Zn-Mg Alloy	A1	0.063	0.194	1.53	0.018	2.06	0.20	0.004	5.32	0.01	Bal.
Al-Zn-Mg +0.5% Cd	A2	0.085	0.311	1.65	0.017	2.08	0.179	0.008	5.54	0.56	Bal.
Al-Zn-Mg +0.5% Ni	A3	0.075	0.238	1.66	0.017	2.08	0.18	0.514	5.51	0.01	Bal.

Result of X-Ray Diffraction Test

نتائج فحص حيود الأشعة السينية

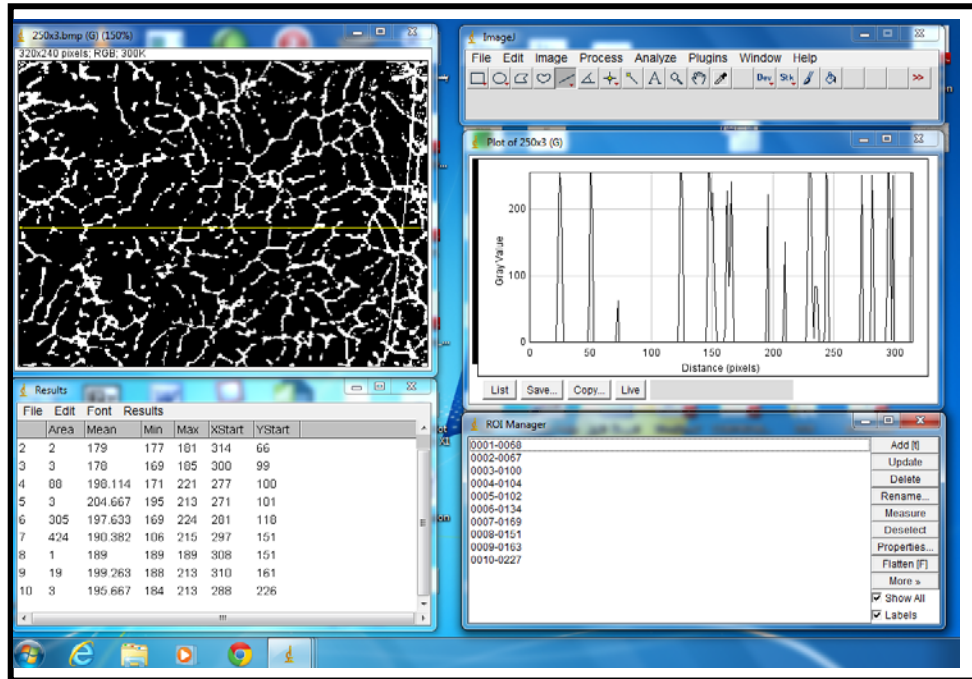
من أنماط حيود الأشعة السينية للسبائك (A1), (A2), (A3), (A4) والمبيّنة في الشكل (7)،
توضح الأطوار المتكونة في هذه العينات. فقد لوحظ ترسيب طور الألمنيوم (Al) والألمنيوم زنك (Al Zn) في كل السبائك نتيجة لتفاعل الألمنيوم مع الزنك وهو الطور الرئيسي في سبيكة الأساس، حيث يظهر الألمنيوم عند زوايا حيود (38.620, 65.200) أما الألمنيوم زنك يظهر عند زوايا حيود (44.860, 78.280). ولم يلاحظ أي أطوار أخرى وقد يعود ذلك للنسبة القليلة المضافة للكاديوم والنيكل للسبيكة الأساس.



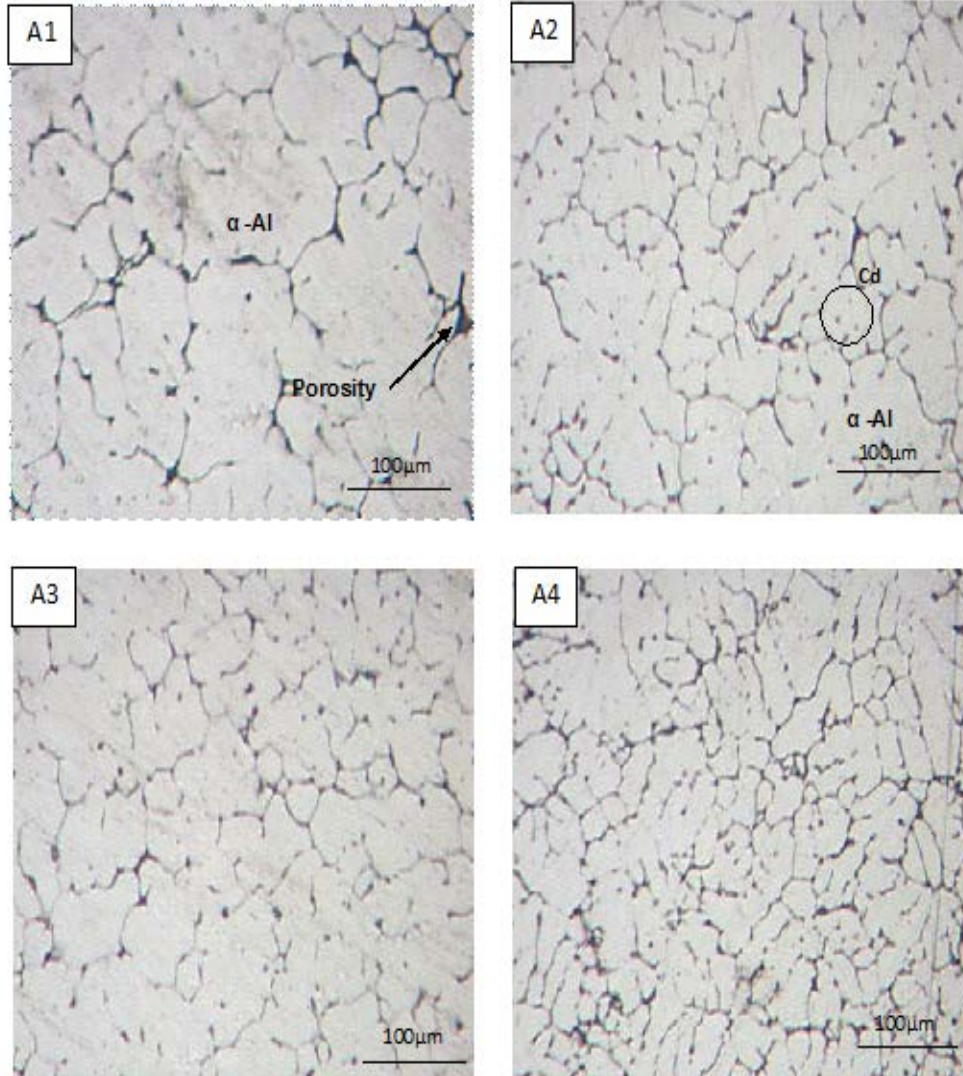
شكل (1) رسم تخطيطي أبعاد عينة الشد حسب المواصفة القياسية (ASME E8M)



شكل (2) جهاز البلى المستخدم



شكل (3) واجهة برنامج Image-J



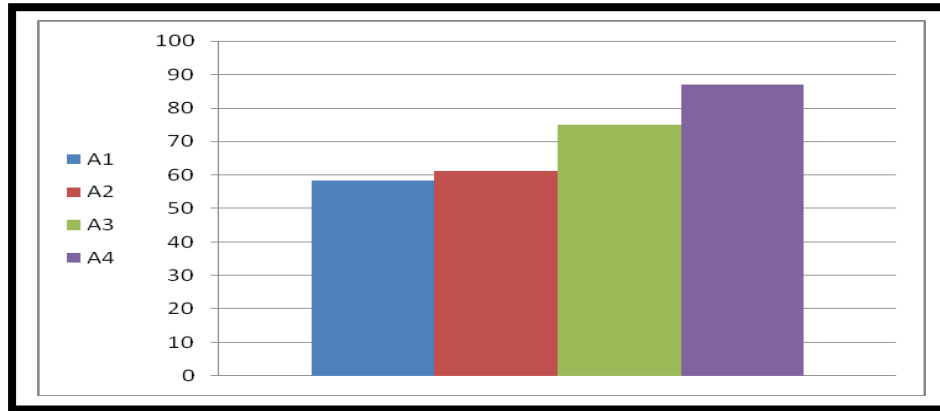
شكل (4) البنية المجهرية للسبيكة الأساس والسبائك المحضرة

A1\Al-Zn-Mg

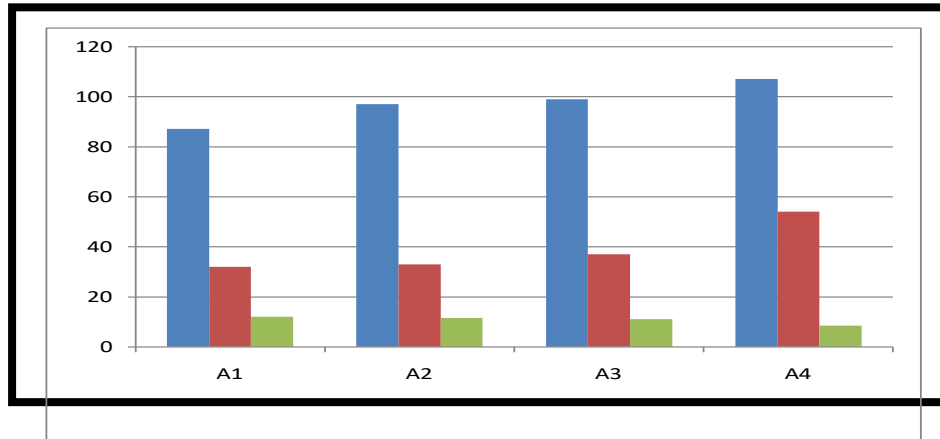
A2\Al-Zn-Mg+0.5%Cd

A3\Al-Zn-Mg+0.5%Ni

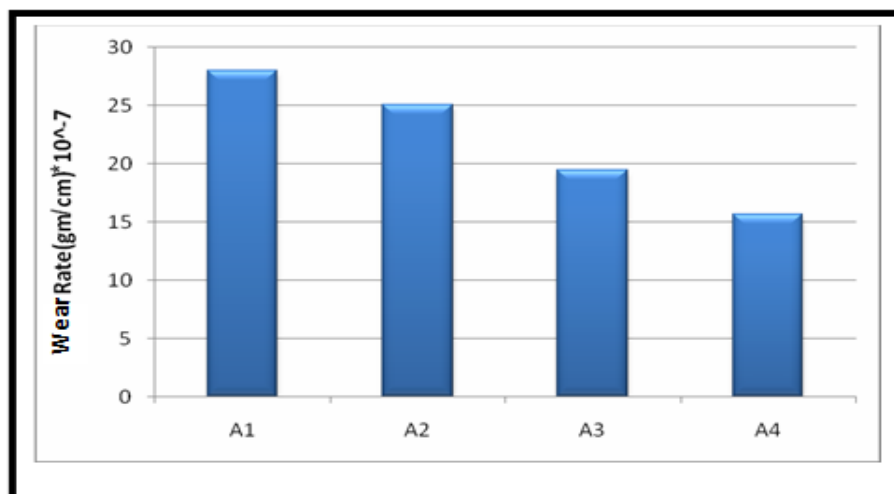
A4\Al-Zn-Mg+1%Cd+1%Ni



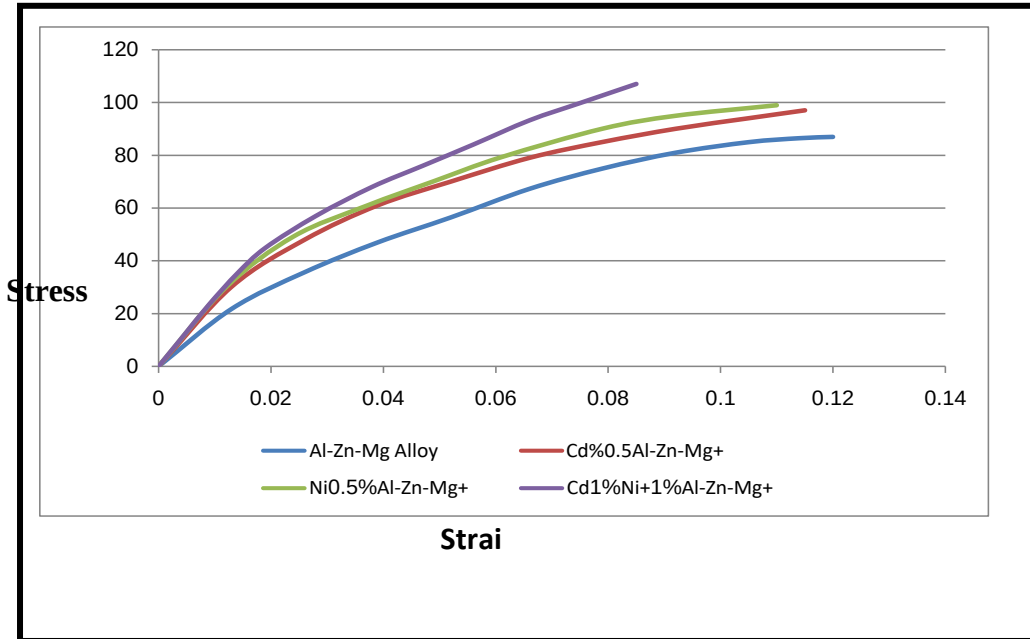
الشكل (5) اختبار الصلادة لسبيكة الأساس والسبائك المحضرة



الشكل (6a) تأثير إضافة النيكل والكاديوم على الخواص الميكانيكية



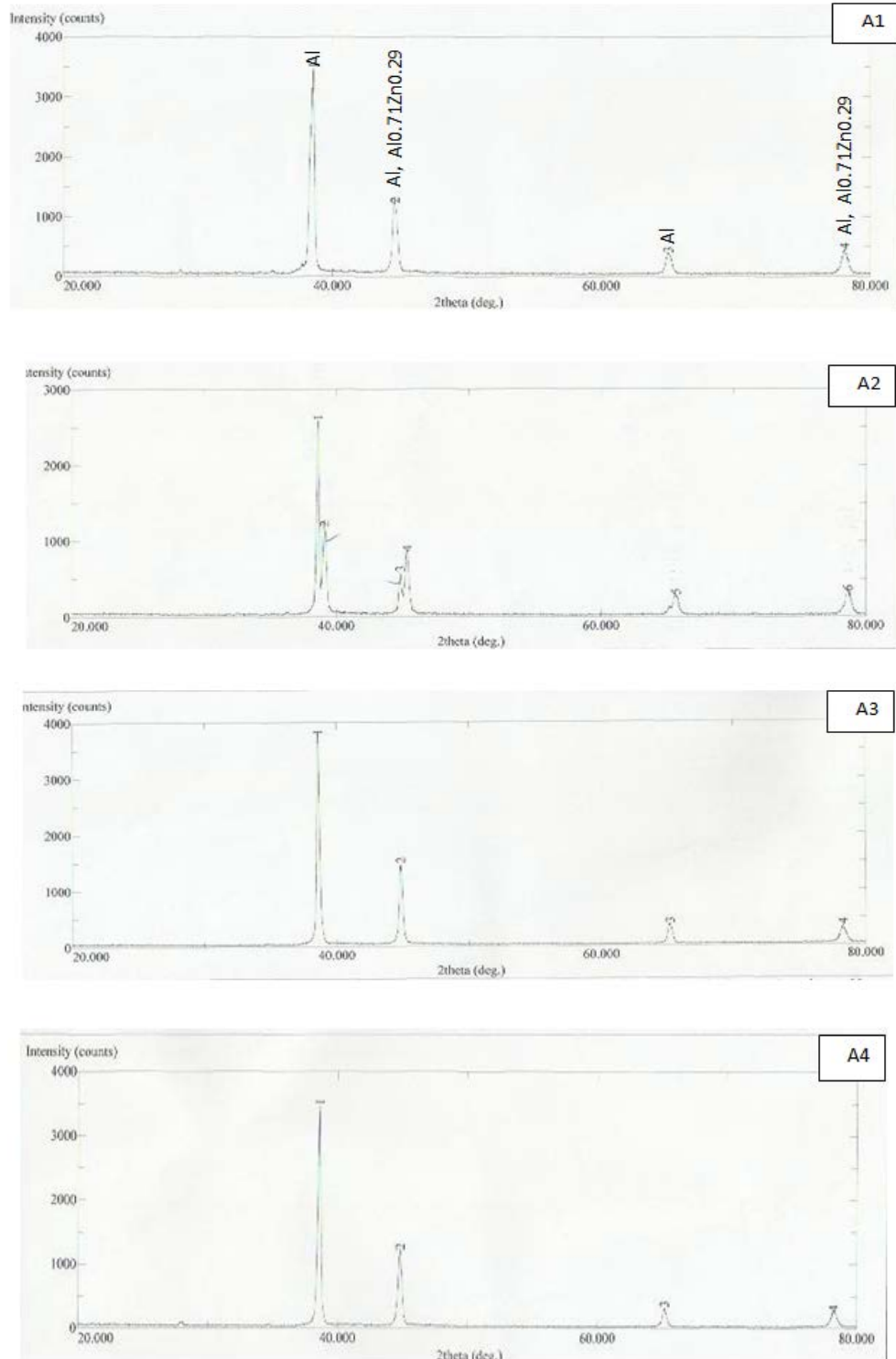
شكل (6b) تأثير إضافة النيكل والكاديوم على معدل لبلى البلى



شكل (8) مخطط أجهاد-انفعال لسبيكة الأساس والسبائك المحضرة

جدول (2) الخواص الميكانيكية لسبيكة الأساس والسبائك المحضرة

Alloys	Elongation (%)	Tensile strength (Mpa)	Yield strength (Mpa)	Hardness (Kg\mm ²)	average particles size (μm)
Al-Zn-Mg alloy	12	89	32	58.4	8.7
Al-Zn-Mg+0.5%Cd	11.5	97	33	61.1	6.67
Al-Zn-Mg+0.5%Ni	11	99	37	74.9	6.32
Al-Zn-Mg +1%Ni+ %Cd	8.5	107	54	86.92	4.29



شكل (7) نتائج حيود الأشعة السينية للسبيكة الأساس والسبائك المحضرة

الاستنتاجات Conclusions

- 1- إضافة النيكل والكاديوم معا كان له تأثيراً اكبر على الخواص الميكانيكية مقارنة مع إضافة النيكل والكاديوم كل على حدة اما بشكل منفرد فكان للنيكل التأثير الاكبر.
- 2- أدت إضافة النيكل والكاديوم إلى سبيكة (Al-Zn-Mg) إلى تنعيم الحبيبات وكان أفضل تأثير عند إضافة النيكل والكاديوم معاً.
- 3- إضافة الكاديوم والنيكل أدت إلى زيادة مقاومة الشد ومقاومة الخضوع والصلادة وتقليل معدل البلى.
- 4- إضافة النيكل والكاديوم عمل على انخفاض في المطيلية وكان اقل قيمة لها عند إضافة النيكل والكاديوم معا .

REFERENCES

- [1]. Lucky agrawal, Rakesh yadav and Abhishek sexena, "Effect of magnesium content on the mechanical properties of Al-Zn-Mg alloys", International journal on emerging technologyies, pp.137-140, 2012.
- [2]. S.G. Shabestari, H. Moemeni, " Effect of copper and solidification conditions on the microstructure and mechanical properties of Al-Si-Mg alloys", Journal of Materials Processing Technology, pp. 193-198, 2004.
- [3]. Majed Jaradeh, Torbjorn Carlberg, "Effect of titanium additions on the microstructure of aluminium alloy", Materials Science and Engineering A 413-414, pp.277-282, 2005.
- [4]. A. lokjain, "Effect of alloying element on Al-12.6%Si eutectic alloy", Thesis master, Department of materials science and engineering, 2008.
- [5]. أسيل احمد أموري, "تأثير إضافة عنصر النيكل إلى سبيكة (Al-4%Cu-1.5%Mg)", أطروحة ماجستير, الجامعة التكنولوجية, قسم هندسة الإنتاج والمعادن, 2008.
- [6]. S.W. Nam and D.H. Lee, "The effect of Mn on mechanical behaviour of Al alloys", Metals and materials, Vol.6, No.1, pp.13-16, 2000.
- [7]. A.K. Chaubey, S. Mohapatra, K. Jayasankar, S.K. Pradhan, B. Satpati, S.S. Sahay, B.K. Mishra and P.S. Mukherjee, "Effect Of cerium addition on microstructure and mechanical properties of Al-Zn-Mg-Cu alloys", Transaction of the Indian institute of metals, Vol.62, Issue.6, pp.539-543, 2009.
- [8]. Muna K. Abbass, "Effect of Cd on microstructure and dry sliding wear behavior (Al-12%Si) alloy", The journal of engineering research, Vol.7, No.1, pp1-10, 2010.
- [9]. H. T. Naeem, K.S. Mohammed, K.R. Ahmad and Azmi Rahmat, "The influence of nickel and tin additives on the microstructural and mechanical properties of Al-Zn-Mg-Cu alloys", Materials science and engineering, Article ID 686474, PP1-10, 2014.
- [10]. Mahendra Boopathi, M., K.P. Arulshri and N. Iyandurai, " Evaluation mechanical properties of aluminum alloy 2024 reinforced with silicon carbide and fly ash hybrid metal matrix composite", American Journal of Applied Sciences, 10 (3), pp. 219-229, 2013.

[11].مصطفى خليل اسماعيل , " دراسة تأثير التعديل بالأنثيمون في الخواص الميتالورجية والميكانيكية لسبائك المنيوم – سليكون ,رسالة ماجستير ,قسم هندسة الإنتاج والمعادن ,الجامعة التكنولوجية,2005.

[12].I.Kovacs and L.Zsoldos,"Dislocations and plastic deformation",Pergramon press,1973.

[13].R. Nadella, D. G. Eskin, Q. Du, and L. Katgerman, "Macrosegregation in direct-chill casting of aluminium alloys," Progress in Materials Science, vol. 53, no. 3, pp. 421–480, 2008.

[14].D. G. Eskin, Physical Metallurgy of Direct Chill Casting of Aluminum Alloys, CRC Press, New York, NY, USA, 2008.