تـــأثير اضافة عنصر النيكل على مسبوكة الالمنيوم - نحاس قبل وبعد المعاملة الحرارية

د. منذر محمد راضي* و أسيل أحمد أموري*

تاريخ التسلم :2008/11/18
تاريخ القبول :6/4/ 2009

الخلاصة

في هذا البحث تم دراسة تأثير إضافة عنصر النيكل النقي وبنسب مختلفة (wt % 5- 3- 2-1) الى منصهر سبيكة (Al-4%Cu-1.5%Mg) وتمت سباكتها بالقوالب المعدنية ومن ثـم إجراء المعاملة الحرارية (T6) التي تتضمن (معاملة محلولية وإجراء عملية التعتيق الاصطناعي عند درجة حرارة (220ºC) بفترات زمنية مختلفة ضمن المدى (5min-5hr)). وكـذلك تـم دراسة تأثير عنصر النيكل على التركيب المجهري وعلى الحجم الحبيبـي ونوعيـة الأطـوار المتكونة في السبائك المنتجة بالسباكة قبل وبعد المعاملـة الحراريـة مـن خـلال اسـتخدام الميكروسكوب الضوئي وجهاز فحص حيود الأشعة السينية (X-Ray Diffraction) ثم اجري فحص الصلادة وكذلك اختبار الشد وقد اظهرت النتائج:

ان السبيكة ذات نسبة الأضافة الأعلى (5%Ni) تظهر أفضل استجابة من باقي السبائك للتصليد عند فترة زمنية اطول حيث تم الوصول الى أعلى صلادة (125 H.V) خلال فترة زمنية (4hr) عند درجة حرارة (220Cº) بينما السبيكة الخالية من النيكل فيتم الوصول فيها الى أعلى صلادة مقدارها (112 H.V) بفترة زمنية اقل (2hr). تم تحديد الأطوار المتكونة في السبائك بعد اضافة عنصر النيكل حيث تبين وجود الطور (Al_7Cu_4Ni) الذي يكون مسؤول عن التباطئ الحاصل في استجابة السبائك لعملية التصليد بالترسيب مما يؤدي الى التأخر (فترة زمنية اطول) للحصول على أعلى صلادة. كذلك تم التوصل الى ان اضافة النيكل يسبب زيادة وتحسن في خـواص مقاومة الشد ومقاومة الخضوع والأستطالة. وهذا يعزى الى ان وجود النيكل يسلك طريقان قسم منه يتفاعل مع الألمنيوم والنحاس مكون الطور(Al_7Cu_4Ni) مما يسبب تباطئ تكوين الطـور المصلد (S) ذو التركيب الكيميائي (**Al_2CuMg**) وقسم اخر يسبب تنعيم الحجوم الحبيبية عند درجات الحرارة العالية مسبب زيادة في المقاومة الميكانيكية والصلادة بنسبة اكبـر للسـبائك المحتوية على النيكل مقارنة بالسبيكة الخالية من النيكل.

الكلمات المرشدة : سبائك الأمنيوم، المعاملة الحرارية المحلولية.

Studying Effect of Adding Nickel to Al-Cu Alloy Before and After Heat Treatment

Abstract

In this research, the effect of adding pure nickel element in different amounts (to molten alloy (1-2-3-5%wt) Al-4%Cu-1.5%Mg) has been studied it making the heat treatment (T6) which includes solution treatment followed by artificial aging at 220 ºC at different times within the range (5 min-5 hr.)). Also the effect of nickel element on the microstructure, the grain size and the phases type which are constructed in the produced alloys by alloying before and after heat treatment by using optical microscope and X-Ray diffraction test device have been studied then the hardness and tensile test were implemented and then the result showed: the alloy with the highest adding rate (5% wt) shows a better

*قسم هندسة الانتاج والمعادن, الجامعة التكنولوجية/ بغداد

https://doi.org/10.30684/etj.28.5.15
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

response than the other alloys for hardening in longer time period where it have been reached to highest hardness (125 H.V) in time period (4hr) at (220ºC). While the empty alloy of nickel reached to highest hardness equals to (112 H.V) in a time period less than (2hr). The constructed phases in alloys have been specified after adding Ni element, where it indicated to the existence of the phase (Al_7Cu_4Ni) which is responsible for the slowliness which occurs in the alloy's response to precipitation hardening procedure which leads to delay (longer time periode) to obtain a higher hardness. It also found that adding of nickel causes an increase and an improvement in the properties of the tensile strength, yield strength and elongation, which indicates that the presence of the nickel takes two ways part of it dissolve with Aluminum and copper to produce the phase (Al_7Cu_4Ni) which causes the slowing in the construction of the hardening phase (Al_2CuMg), the other part causes refining grains size at the highest temperature degrees causing an increase in the strength and the hardness in a rate which is higher for the alloy's that contain nickel in a comparison with the empty alloy of nickel.

المقدمـــة

ان استعمال الألمنيوم النقـــي يبقـــى محدوداً جداً في التطبيقات الهندسية اذ انـــه لين وضـــعيف وذو خـــواص ميكانيكيـــة منخفضة، لهذا توجهت البحوث منذ وقـــت طويل وتطورت بشكل كبير في الســـنوات الأخيرة نحو تحسين الخواص الميكانيكيـــة للألمنيوم عن طريق التشكيل او تسبيكه مع عناصر اخرى مثل النحـــاس والســـليكون والخارصين والمغنيسيوم والنيكل فضلاً عن عناصر اخرى واجراء المعاملات الحرارية عليه[1].

تتواجد عناصر السبك في الألمنيوم علـــى نوعين:

1. عناصر متواجدة بكميـــات صـــغيرة أو ضئيلة ولا مفر من وجودها ولهذا يمكـــن اعتبارها كمتضمنات أو شوائب.
2. عناصر تضاف بكميات محددة ومعلومة لأعطاء الألمنيوم خواص معينة وتدعى هذه العناصر بعناصر السبك [2].

ان هذه العناصر تعمل على تكوين محاليل جامدة مما يـــؤدي الـــى حصـــول تقويـــة للألمنيوم وعند المعاملة الحراريـــة لهـــذه السبائك تترسب اطوار اخرى اضافه الـــى المحلول الجامد مما يؤدي الى زيادة مقاومة هذه السبائك نتيجة المعامله الحرارية.

وتعد سبيكة الألمنيوم – نحاس احدى سبائك الألمنيوم المهمه في هذا المجـــال حيـــث تكتسب هذه السبيكة بعد المعامله الحرارية خواص ميكانيكية عالية نتيجة قابليتها على الأصـــلاد بالترســـيب (precipitation hardening) [1] .

فقد قام عدد كبير من الباحثين بدراسة تأثير اضافة العناصر السبائكيةوالمعاملة الحرارية فـــي البنيـــة المجهريـــة والخـــواص الميكانيكيـــة لمســـبوكات (Al-Cu alloys و Al-Cu-Mg alloys) :

فقد درس الباحث (M.Murayama) [3] واخرون بتحليل التجمعات المتكونـــة فـــي السبيكة (Al-Cu-Mg-Ag) قبل بدأ عملية الترسيب فيها أي في المراحل الأولية لعملية التعتيـــق بأســـتعمال المجهـــر المجســـي (Three dimensional atom probe analyses) وقد استنتجوا ما يأتي :

بعد مرور(5sec) على عمليـــة التعتيـــق للسبيكة عند (180°C) تتكون تجمعات من (Mg-Ag) فقط غير واضحة المعـــالم ولا وجود لذرات النحاس في هذه التجمعات . وبعد مرور (120sec) عند درجة حرارة (180°C) تظهر التجمعات علـــى شـــكل صفائح يصل تركيز النحـــاس فيهـــا الـــى (30%) وهذا يؤدي الى ظهور الطور(Ω)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ذي التركيب الكيميائي ($Al_2CuMg(Ag)$) بشكل واضح وهذا يشير الى أن تكون التجمعات في المراحل الأولى هو السبب في عملية التخليق غير المتجانس للطور(Ω) في المراحل الأولية لتكونه اذ تكون التجمعات المتكونة من (Mg-Ag) كمواقع للتخليق. ان الطور (Ω) يحسن من الخواص الميكانيكية والحرارية للسبيكة (Al-Cu-Mg-Ag) نتيجة لتوزيعه المنتظم في التركيب النهائي للسبيكة .

وقد قام الباحث (D.H.Xiao) [4] واخرون بدراسة تأثير اضافة عنصر النحاس في الخواص الميكانيكية لسبيكة (Al-Cu-Mg-Ag) بنسب (4-8 % Cu) وقد لاحظوا زيادة في مقاومة الشد من (434 MPa) الى (559 MPa) عند درجة حرارة الغرفة ومن (141 MPa) الى (228 MPa) عند درجة حرارة 300C° مع حدوث نقصان طفيف في الأستطالة. ان المقاومة العالية للسبيكة الحاوية على (8%Cu) سببها يعود الى الكثافة العالية للترسبات من نوع (θ' , Ω) ويزيد من استقرارية الطور(Ω) لكن يقل حجمه بسبب تكون اطوار ثانوية من (θ) ذي التركيب الكيميائي (Al_2Cu) تتسبب في تقوية السبيكة. ان اضافة النحاس فوق حد ذوبانيته في الألمنيوم يتسبب بأفراط بالتقوية للسبيكة عند درجة حرارة الغرفة. وقد درس الباحث (P.E.J.Rivera) [5] واخرون تأثير اضافة عنصري النيكل (Ni) والكروم (Cr) بنسبة لاتتعدى (1%) وعنصري (Si) و(Li) بنسبة (1%) على حركية تخشين الرواسب لسبيكة (Al-Cu-Mg) وقد استنتج بأن للنيكل والكروم تأثيراً ايجابياً في استقرارية طور (S) بينما اضافة السليكون والليثيوم يؤدي الى تسريع عملية تخشين طور(S) وهذا يؤدي الى تخفيض بقيمة المتانة (Strength) بنسبة 10% .

ويعد البحث الحالي احدى المحاولات لدراسة تأثير عنصر النيكل بنسب مختلفة (wt % 5 -3 -2 -1) على الخواص الميكانيكية وعملية الأصلاد بالترسيب لسبيكة ألمنيوم – نحاس – مغنيسيوم . تعد سبيكة الألمنيوم- نحاس من أكثر السبائك أستعمالاً اذ انها تمتلك خواص ميكانيكية جيدة فضلاً عن انها تعد اول سبيكة أكتشفت فيها ظاهرة الأصلاد بالترسيب , وتستعمل هذه السبيكة في صناعة أجزاء مختلفة في الطائرات كالمحركات والقضبان وبراشيم تثبيت هياكل الطائرات[6].

اما سبيكة (Al-Cu-Mg-Ni) فأنها تستعمل في التطبيقات التي تتطلب مقاومة جيدة عند درجات الحرارة العالية وفي كباسات الموتوسيكلات ومحركات الديزل في الطائرات [7].

الجزء العملي

تحضير السبيكة

تم تحضير السبائك المستعملة في البحث وذلك بوزن قطع من الألمنيوم النقي وحسبت الكمية المقابلة له من عناصر السبك للحصول على النسب الوزنية المطلوبة لكل سبيكة على حدة على وفق نسبة النيكل المضافة وذلك بصهر الالمنيوم في فرن غازي بإستعمال بودقة كرافيتية واجريت عملية الصهر عند درجة حرارة (750 °C) لضمان صهر الالمنيوم بعد ذلك تم اضافة النحاس النقي على شكل رايش الى الالمنيوم المنصهر مع اجراء التحريك المستمر بقضيب من الكرافيت لضمان ذوبان جميع النحاس في الالمنيوم المنصهر وحدوث التجانس بعد ذلك تم اضافة رايش النيكل بعد تغليفه برقائق من الالمنيوم النقي لضمان دخوله المنصهر دون تأكسده واحتراقه اثناء الأضافة وتقليل نسبته الوزنية مع التحريك المستمر ثم اضافة رايش المغنسيوم النقي بعد تغليفه ايضا برقائق الألمنيوم ويخلط المنصهر جيداً ثم يضاف طارد الغازات (Degassing) ومزيل الخبث كلوريد

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الألمنيوم ويخلط جيداً ثم يسحب الخبث من فوهة البودقة. يتم تسخين قالب الصب قبل صب المنصهرفيه الى درجة حرارة 200 °C لغرض منع حصول التشقق الحار (Hot Cracking) للمنتج ثم يتم تبريد قالب الصب بعد صب المنصهر ومن ثم انتزاع المصبوبة من داخله. تم تقطيع العينات المنتجة بشكل أقراص بسمك (4.5mm) وقطر(15mm) لغرض دراسة البنية المجهرية والصلادة واجراء عمليات المعاملة الحرارية.

المعاملة الحرارية

اجريت عملية التجانس الحراري لجميع العينات المنتجة قبل اجراء المعاملة الحرارية المحلولية إذ تهدف هذه العملية الى منع الأنعزال في الهيكل المجهري وكذلك من أجل الحصول على توزيع متجانس الى حد مقبول في الحجم الحبيبي. تم اجراء عملية التجانس الحراري للسبائك بدرجة (340 C°) مدة ساعة واحدة وبمعدل تبريد بطئ (تبريد بالفرن).ثم اجريت المعملة الحرارية T6 التي شملت:

1- المعاملة الحرارية المحلولية

تمت معالجة جميع العينات معالجة محلولة وبدرجة (510 °C) مدة ساعة في افران خاصة بالمعاملة الحرارية (Electrical Resistance Furnace).

2- ثم تم تقسية العينات بتبريدها تبريدا سريعا وذلك بإلقائها مباشرة بحوض ماء ساخن بدرجة (50 °C-80 °C) وذلك لمنع حدوث التشققات والتغير في الابعاد في اثناء التقسية.

3-التعتيق الأصطناعي

تم اجراء التعتيق الاصطناعي للعينات المنتجة بعمليات السباكة بعد اجراء المعاملة المحلولية والتقسية بماء ساخن مباشرة بوضع العينات في افران كهربائية خاصة بالمعاملة الحرارية (electric resistance oven) ومن ثم اجراء عملية التعتيق الاصطناعي عليها بدرجة حرارة (220 °C) لفترات زمنية مختلفة (5 min-30 min-120 min-180 min-240 min-300 min) وبعد ذلك يتم سحب العينات لاجراء فحص الصلادة عليها وذلك لتحديد المدة التي تستطيع من خلالها الحصول على افضل صلادة وكذلك تحديد مدى استجابة السبائك المنتجة لهذه المعاملة الحرارية.

الفحوصات المختبرية

فحص البنية المجهرية: تم تقطيع عينات الفحص بأبعاد (15Φ x 5mm) وبعد ان اجريت عمليات التنعيم والصقل والأظهار بأستخدام محلول اظهار يتكون من (1% حامض الهيدروفلوريك + 99% ماء مقطر). استخدم المجهر الضوئي المجهر بكاميرا رقمية منصبة ببرنامج خاص على جهاز الحاسوب لدراسة البنية المجهرية للعينات قبل وبعد اجراء المعاملات الحرارية.

فحص الصلادة : استعمل جهاز فحص الصلادة لقياس الصلادة المجهرية بطريقة فيكرز(Vickers Hardness) بأستعمال حمل مقداره (500 g) مدة (10 sec) وكان مقدار القراءات يؤخذ من شاشة الجهاز الرقمية بصورة مباشرة وكانت القراءات تؤخذ بمعدل ثلاث ضربات للعينة.

أن صلادة فيكرز (Hv) تعطى بالمعادلة الاتية:

$$Hv=1.854F/d^2 \quad Kgf/mm^2$$

اختبار الشد: تم تحضير عينات اختبار الشد بالتشغيل الميكانيكي للحصول على عينات قياسية على وفق المواصفةASTM [7]. الأبعاد القياسية لعينة الشد على وفق مواصفات الجهاز المستعمل نوع (INSTRON machine) وسعة (10 Ton) بتسليط حمل شد اقصى مقداره (2.5 Ton) وبسرعة (0.5 mm/min) وبدرجة حرارة الغرفة.

النتائج والمناقشة

نتائج فحص البنية المجهرية: الشكل (1) يوضح التراكيب المجهرية للسبائك المنتجة بعد عملية الصب مباشرةً. اذ تظهر النتائج امكانية الخلط والسباكة بالظروف الأعتيادية

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

والبسيطة لأنتاج مسبوكات بنسب دقيقة تتلاءم مع متطلبات اي تركيب كيميائي. من خلال ملاحظة الشكل (1) نلاحظ ان البنية المجهرية تصبح اكثر نعومة كلما ازدادت نسبة النيكل.يوضح الشكل (2) التراكيب المجهرية للسبائك بعد اجراء عملية التجانس الحراري نلاحظ من هذا الشكل أن البنية المجهرية تتكون من حبيبات ذات أرضية من الألمنيوم (Aluminum Matrix) وكل حبيبة تتكون من عدة مترسبات ناعمة من العناصر السبائكية الرئيسية (Cu , Mg) هذا فضلاً عن وجود اطوار ثانوية اخرى تكون على شكل أشبه بالشبكة المستمرة التي تحيط بالحبيبات المتساوية المحاور هذه الترسبات حسب نتائج فحص (X-Ray Diffraction) كما مبين في الجدول (1) هي الطور (S) ذو التركيب الكيميائي ($CuMgAl_2$)التي تكون غير منحلة خلال عملية التجانس الحراري. ومن مراقبة البنية المجهرية نلاحظ بأن شبكة الأطوار الثانوية التي تحيط بالحبيبة تزداد كثافتها مع إزدياد نسبة النيكل المضافة وهذا يبين ان اطوار جديدة سوف تنشأ وتنمو من جراء اضافة عنصر النيكل بنسب مختلفة.ان فحص البنية المجهرية للعينات التي تم إجراء المعاملة الحرارية عليها اظهرت دقائق ناعمة من الطور ($CuMgAl_2$) التي ترسبت في درجة حرارة التقادم عند فترة زمنية قصيرة (2hr) بالنسبة للسبيكة (A1) ولفترة زمنية أطول (3hr) بالنسبة للسبيكة (A2) و(4hr) للسبائك (A3,A4,A5) كما موضح في الشكل (3) الذي يبين التراكيب المجهرية للسبائك المنتجة عند قمة الصلادة. كما يمكن ملاحظة انه كلما ازدادت الفترة الزمنية للتقادم الأصطناعي يحدث تضخم لدقائق الأطوار الوسطية أي تصبح أكثر خشونة كما موضح في الشكل (4) التي توضح التراكيب المجهرية للسبائك عند الأفراط بالتعتيق، مما يؤدي الى انخفاض الصلادة. في هذه الحالة يمكن ان تنفذ الأنخلاعات بين الدقائق وتعد السبيكة مفرطة بالتعتيق.**نتائج فحص الصلادة**: نلاحظ من الجدول (2) بأن اضافة نسب نيكل مختلفة الى سبيكة البحث (A1) يزيد من صلادتها اذ نلاحظ بأن السبيكة (A1) تكون قيمة صلادتها (56.5 H.V) بينما تصل قيمة الصلادة مع ازدياد نسبة النيكل الى (84.3 H.V) في السبيكة الحاوية على (5%Ni).

إن تأثير محتوى السبيكة من النيكل كبير الى حد ما في تباطؤ الية التصليد وكذلك فأن له تأثيراً كبيراً في الصلادة القصوى أو قمة الصلادة وذلك عند اجراء المعاملة الحرارية T6 (معاملة محلولية وتعتيق اصطناعي) فأن اضافة النيكل الى سبائك الأمنيوم- نحاس- مغنيسيوم تعمل على تأخير تكوين الأطوار الوسطية بسبب تكون الطور(Cu_4NiAl_7) كما بينته نتائج فحص حيود الأشعة السينية الجدول (1) اذ يظهر هذا الطور بوضوح في السبائك المنتجة الحاوية على النيكل. ان هذا التأخير يؤدي الى حاجة السبائك الحاوية على النيكل لفترة زمنية اكبر لحصول ترسيب الطور المصلد (S) ذي التركيب الكيميائي (Al_2CuMg) المسؤول عن تقوية السبيكة مما يؤدي الى تأخر حصول عملية الأفراط بالتعتيق (Over Aging) التي تتسبب بأضعاف الخواص الميكانيكية للسبيكة لظهور الطور (S) لكن بحجوم اكبر مما يؤدي الى هشاشية السبيكة واضعاف خواصها الميكانيكية. وبذلك فأن للنيكل دوراً مهماً في امكانية ابقاء سبيكة الألمنيوم عند درجات حرارة عالية ولمدة زمنية طويلة دون حصول عملية الأفراط بالتعتيق هذا ما وافق بعض الدراسات [6] التي تشير الى ان هذا التأثير يكون بسبب التفاعل الحاصل بين ذرات النيكل وذرات النحاس مما يؤدي الى تكون الطور (Cu_4NiAl_7) الذي يكون المسؤول عن التباطؤ الحاصل لعملية التصليد بالترسيب بسبب تأخر ظهور الطور (S).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

نلاحظ من الجدول (2) والشكل (5) ان اقصى صلادة تم الحصول عليها عند اجراء التعتيق الأصطناعي للسبيكة (A1) هـي (112 H.V) عند درجة حرارة (220°C) مدة (2hr) أمـا عنـد اجـراء التعتيـق الأصطناعي للسبائك الحاوية على عنصر النيكل نلاحـظ ان قـيم الصـلادة تكـون منخفضة عند فترة (2hr) مقارنة بالسبيكة (A1) الخالية من النيكل ولكن تعود الـى الأرتفاع بعد فترة (3hr) بالنسبة للسـبيكة الحاوية على (1%Ni) اي السبيكة (A2) ولفترة (4hr) بالنسبة للسبائك التي تحتوي على (5%Ni, 3%Ni , 2%Ni) اذ تبلـغ قيمة الصلادة (125 H.V) عنـد درجـة حرارة (220°C) لمدة (4hr) عند نسـبة نيكل تساوي (5%Ni) من هذا نستنتج بأن هذه النسبة من النيكل تؤدي الى زيادة بقيمة الصلادة بمقـدار (11.6%) تقريبـاً وأدى كذلك الى زيادة الفترة الزمنية للوصول الى الصلادة العظمى بحوالي (2hr) ، يعـود السبب الى ان وجود النيكل بنسبة (1%Ni) عمل على تأخير تكون الطور المصلد (S) بفترة اقل مقارنة بالسبائك التي تحتوي نسب نيكل اكثر مـن (1%Ni) بسـبب تكـون الطور (Cu_4NiAl_7) بنسبة اكبر وعمـل النيكل ايضا على تنعيم الحبيبات اذ نلاحظ انه كلما إزدادت نسبة النيكل كانت الحبيبات أنعم وان زيادة نسبة النيكل الى حد (5%) تؤدي الى وجوده كمتضمنات تتسبب فـي تقوية السبيكة.ان أقصى صلادة تم الحصول عليها لاحظ الشكل (5) تعزى الى تكـون تجمعات من ذرات النحاس والمغنيسيوم الى مناطق (GP-1) لتكوين منـاطق واسـعة تدعى (GP-2/S'') ذات سمك أكبر تسبب هذه المناطق تشوهاً في الشـبكة البلوريـة وبأرتفاع درجة حرارة التعتيق تزداد سرعة عملية تحول البنية فتتحـول البنيـة (GP-2/S'') الى مترسب متماسك علـى شـكل دقائق صغيرة مشتتة للطور البيني (S') في أماكن تواجد (GP-2/S'') واخيراً يتحـول الى مركب مستقر غير متماسك بأرتفـاع درجة الحرارة يدعى (S) يتسبب في اعاقة لحركة الأنخلاعات مما يؤدي الى زيـادة المقاومة الميكانيكيـة اي يسـبب زيـادة الخواص الميكانيكية.

نتائج اختبار الشد

توضح الأشكال (6) و(7) قيم مقاومـة الشد ومقاومة الخضوع والأستطالة نسـبة الى العينات قبل وبعد الأضافة بعد الصب مباشرة تبين بأن اضافة نسب نيكل مختلفة الى سبيكة البحث (A1) يؤدي الى زيـادة قيم مقاومة الشد وقيم مقاومـة الخضـوع وتسبب ايضاً زيادة في نسـبة الأسـتطالة للسبائك الحاوية على النيكل مقارنـة مـع سبيكة البحث الخالية من النيكل يعود السبب في حصول التحسن بالخواص الميكانيكيـة الى دور النيكل في تقوية السبائك لانه عند زيادة مقدار اضافة النيكل الى نسبة اعلى من حد ذوبانيته التي تسـاوي (0.04%) فأنه سيوجد كمتضمنات غير ذائبة تعمـل على تقوية السبيكة لأنه يساهم في ان يكون كمراكز للتخليق أي انوية لتكوين حبيبـات صغيرة الحجم وبذلك تصبح السبيكة اكثـر مقاومة. ولأن للنيكل تركيباً بلورياً ممـاثلاً لتركيب الألمنيوم (له طاقة سطحية اكبـر) فتكون فعاليته لعملية التنوية اكبـر عنـد درجة حرارة التجمد وكلمـا ازداد عـدد الأنوية فأن الحجم الحبيبي يكون أنعـم اي التناسب عكسي بينهما.

تبين الأشكال (8) و(9) قيم مقاومة الشد ومقاومة الخضوع والأستطالة نسبة الـى العينات بعد اجـراء المعاملـة الحراريـة (الأصلاد بالترسيب) ان دورالنيكل كبيـر في مقاومة السبائك كما يوضـح الشـكل (10) تحسن بخواص الشد كلمـا ازدادت نسبة النيكل الى ان تصل نسبة النيكل الى (5%) فتكون الزيادة بقـيم الشـد بشـكل واضح بعد المعاملة الحرارية مقارنة مـع السبائك بعد عملية الصب مباشرة.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الأستنتاجات: Conclusions

1- إن زيادة نسبة اضافة النيكل من (1%Ni) الى (5%Ni) الى السبيكة (Al-4%Cu-1.5%Mg) كان ليؤثر في زيادة كل من خواص الشد والصلادة والأستطالة للسبائك قبل اجراء المعاملة الحرارية.

2- إن اضافة النيكل الى سبيكة البحث أدى الى تباطؤ في استجابة السبائك للتصليد بالترسيب عند اجراء عملية التعتيق الأصطناعي عند نسب نيكل مساوية الى (1-2-3-5%Ni).

إن اضافة النيكل الى سبيكة البحث بنسب (1-2-3-5%Ni) واجراء عملية التعتيق الأصطناعي أدى الى تحسن الخواص الميكانيكية (مقاومة الشد ومقاومة الخضوع والأستطالة) اذ نلاحظ تحسناً في هذه الخواص كلما ازدادت نسبة النيكل أعلى من (1%Ni) وصولا الى نسبة (5%Ni) حيث يكون التحسن في الخواص بشكل واضح.

تم الوصول الى أقصى صلادة بقيمة (125 H.V) عند التعتيق الأصطناعي بدرجة حرارة (220C°) ومدة حوالي (4hr) للسبيكة التي (A5) بينما كانت مدة الوصول الى أقصى صلادة (112 H.V) في السبيكة الخالية من النيكل (A1) مساوية الى (2hr).

References

[1] W. D.Callister, "Material Science &Engineering: An Introduction", 3rd Edition, 1994 .

[2] غيداء كريم ياس "دراسة تأثير ظاهرة الأصلاد بالترسيب على الخواص الميكانيكية لسبيكة (المنيوم - نحاس)" رسالة ماجستير/ الجامعة التكنولوجية- 2000

[3] M.Murayama and K.Hono "Three Dimensional Atom Probe Analysis of Pre-Precipitate Clustering in An Al-Cu-Mg-Ag Alloy" National Research Institute for Metals, Japan 1997.

[4] D.H.Xiao, J.N.Wang, S.P.Chen, D.Y.Ding "Effect of Cu Content on the Mechanical Properties of An Al-Cu-Mg-Ag Alloy" Shanghai Jiao Tong University, China 2001.

[5] P.E.J.Rivera "Tailoring of Oswald ripening behavior in multi-component Al-alloy" Scripta Materialia, December 2004, P.708 . www.actamat-journl.com.

[6] Davis, "Aluminum Casting Casting Technology" American Foundarymen's Society 1993.

[7] L.F.Mondolfo"Aluminum Alloys: Structure and Properties", Butter Worth's London, 1976.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

جدول (1) الأطوار المعدنية التي تظهر للسبائك المنتجة نتيجة الفحص بالأشعة السينية

Alloy	(degree) 2θ	Dmeasured (A°)	Dstandard (A°)	Constituent phase	Relative Intensity (I/I°)
A1	38.4	2.340	2.374	$CuAl_2$	70
	38.4	2.340	2.34	Al	100
	38.4	2.340	2.311	Al_2CuMg	100
	44.5	2.030	2.024	Al	47
	45.1	2.003	2.016	Al_2CuMg	30
	49.3	1.844	1.836	Al_2CuMg	9
	64.7	1.437	1.408	$CuAl_2$	6
	64.7	1.437	1.431	Al	22
	64.7	1.437	1.442	Al_2CuMg	1
	78.1	1.222	1.219	$CuAl_2$	8
	78.1	1.222	1.22	Al	24
	78.1	1.222	1.224	Al_2CuMg	1
	82.3	1.169	1.172	$CuAl_2$	U
	82.3	1.169	1.1690	Al	7
	82.3	1.169	1.167	Al_2CuMg	1

Alloy	(degree) 2θ	Dmeasured (A°)	Dstandard (A°)	Constituent phase	Relative Intensity (I/I°)
A2	38.6	2.326	2.374	CuAl2	70
	38.6	2.326	2.326	Al7Cu4Ni	1
	38.6	2.326	2.338	Al	100
	38.6	2.326	2.311	Al2CuMg	100
	44.8	2.019	2.024	Al	47
	44.8	2.019	2.016	Al2CuMg	30
	65.0	1.431	1.417	Al7Cu4Ni	13
	65.0	1.431	1.431	Al	22
	78.2	1.220	1.219	CuAl2	8
	78.2	1.220	1.221	Al	24
	78.2	1.220	1.224	Al2CuMg	1
	82.5	1.167	1.172	CuAl2	U
	82.5	1.167	1.166	Al7Cu4Ni	22

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

تكملة الجدول (1)

Alloy	(degree) 2θ	Dmeasured (A°)	Dstandard (A°)	Constituent phase	Relative Intensity (I/I◦)
A3	38.6	2.360	2.374	$CuAl_2$	70
	38.6	2.360	2.326	Al_7Cu_4Ni	1
	38.6	2.360	2.34	Al	100
	44.1	2.050	2.049	Al_7Cu_4Ni	98
	44.1	2.050	2.025	Al	47
	55.1	1.662	1.665	Al_7Cu_4Ni	1
	55.1	1.662	1.660	Al_2CuMg	4
	64.4	1.443	1.448	Al_7Cu_4Ni	22
	64.4	1.443	1.431	Al	22
	64.4	1.443	1.442	Al_2CuMg	1
	77.7	1.226	1.219	Al_2Cu	8
	77.7	1.226	1.221	Al	24
	82.1	1.172	1.169	Al_2Cu	U
	82.1	1.172	1.165	Al_7Cu_4Ni	9
	82.1	1.172	1.167	Al_2CuMg	1

Alloy	(degree) 2θ	Dmeasured (A°)	Dstandard (A°)	Constituent phase	Relative Intensity (I/I◦)
A4	31.3	2.845	2.89	Al_7Cu_4Ni	24
	38.7	2.320	2.374	$CuAl_2$	70
	38.7	2.320	2.338	Al_2CuMg	100
	38.7	2.320	2.326	Al_7Cu_4Ni	1
	38.7	2.320	2.338	Al	100
	44.7	2.021	2.02	Al	47
	65.0	1.431	1.416	Al_2CuMg	32
	70.0	1.342	1.357	$CuAl_2$	11
	70.0	1.342	1.3429	Al_7Cu_4Ni	2

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

	78.4	1.217	1.2158	Al_7Cu_4Ni	<1
	78.4	1.217	1.221	Al	24
	82.5	1.167	1.172	$CuAl_2$	U
	82.5	1.167	1.169	Al_2CuMg	25
	82.5	1.167	1.1666	Al_7Cu_4Ni	3
	82.5	1.167	1.1690	Al	7

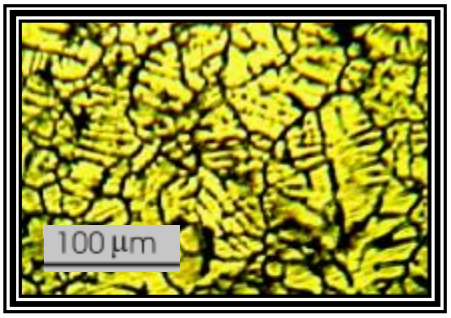
Alloy	(degree) 2θ	Dmeasured (A°)	Dstandard (A°)	Constituent phase	Relative Intensity ($I/I_\circ$)
A5	37.6	2.384	2.74	$CuAl_2$	70
	37.6	2.384	2.34	Al	100
	43.8	2.062	2.052	Al_7Cu_4Ni	98
	43.8	2.062	2.024	Al	47
	64.2	1.442	1.408	$CuAl_2$	6
	64.2	1.448	1.4483	Al_7Cu_4Ni	22
	64.2	1.448	1.442	Al_2CuMg	1
	77.4	1.230	1.221	Al	24
	77.4	1.230	1.234	$CuAl_2$	20
	77.4	1.230	1.242	Al_7Cu_4Ni	1
	77.4	1.230	1.234	Al_2CuMg	10
	81.8	1.175	1.1784	Al_7Cu_4Ni	9
	81.8	1.175	1.169	Al	7
	81.8	1.175	1.167	Al_2CuMg	1

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

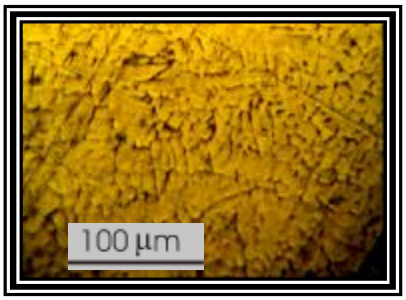
جدول (2) نتائج فحص الصلادة للسبائك المنتجة بعد الصب مباشرة وبعد المعاملة الحرارية

السبيكة	صلادة فيكرز بعد الصب (Kg/mm^2) H.V	صلادة فيكرز بعد المعاملة الحرارية H.V(Kg/mm^2)	زمن التعتيق عند قمة الصلادة (hr)
A1	56.5	112	2
A2	64.4	114.5	3
A3	66.5	118	4
A4	72	120	4
A5	84.3	125	4

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

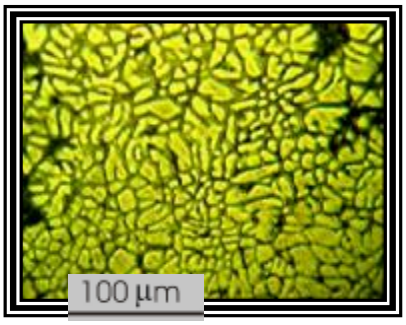


A1



A2

A3



A4

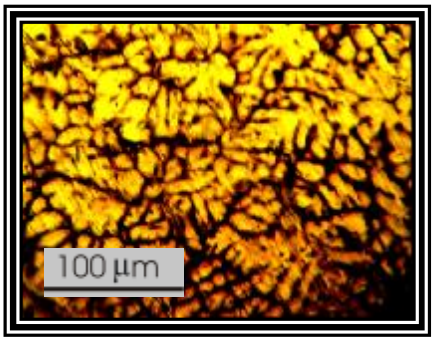
A5

الشكــل (1) الصور المجهرية للسبائك المنتجة بعد عملية الصب مباشرة

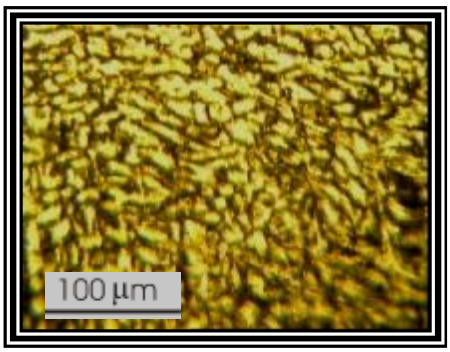
حيث ان:

الرمز A1 يشير الى السبيكة Al-4%Cu-1.5Mg
الرمز A2 يشير الى السبيكة Al-4%Cu-1.5Mg-1%Ni
الرمز A3 يشير الى السبيكة Al-4%Cu-1.5Mg-2%Ni
الرمز A4 يشير الى السبيكة Al-4%Cu-1.5Mg-3%Ni
الرمز A5 يشير الى السبيكة Al-4%Cu-1.5Mg-5%Ni

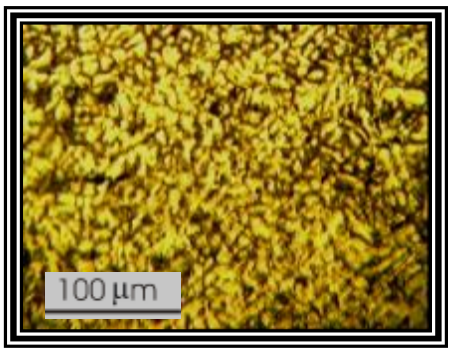
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



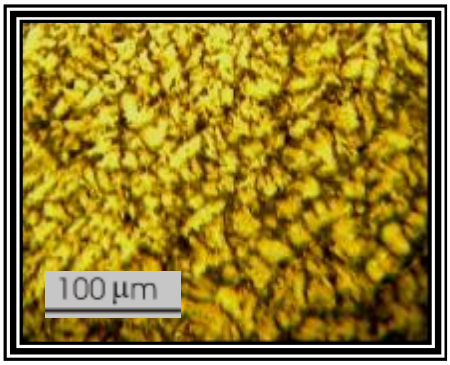
A1



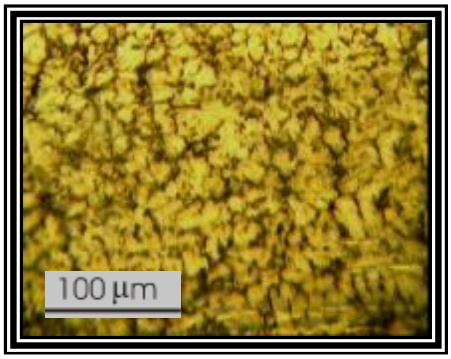
A2



A3



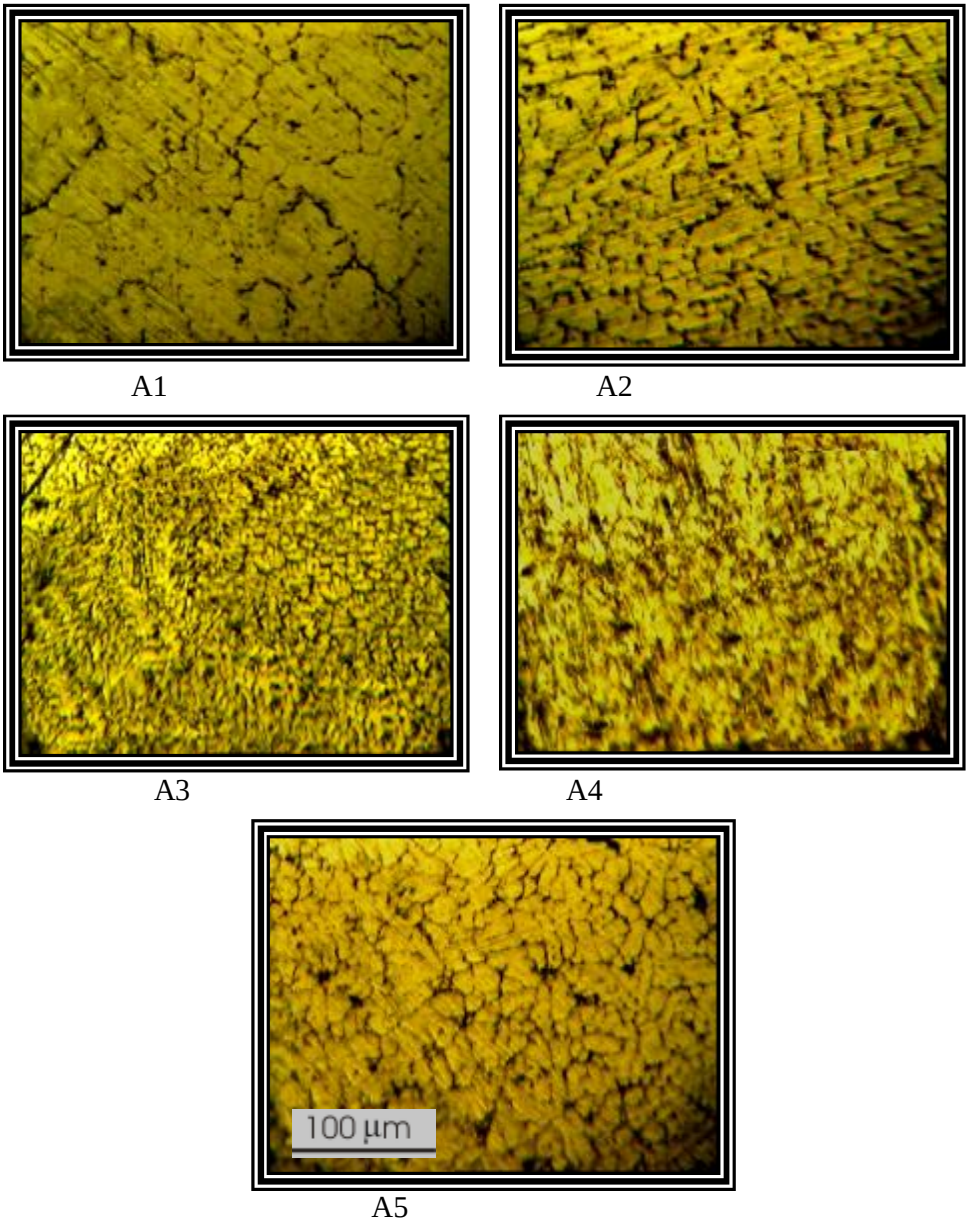
A4



A5

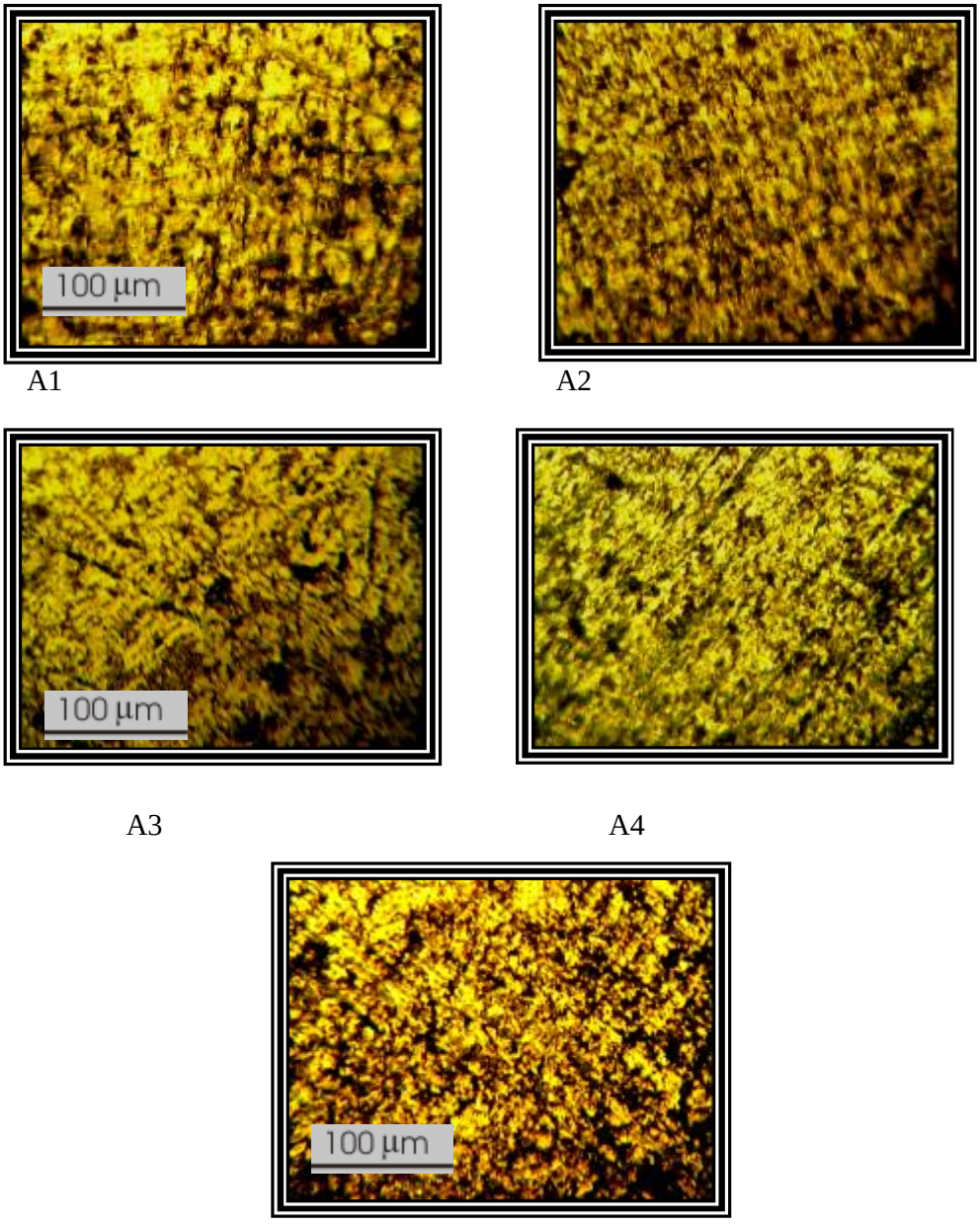
الشكل (2) التراكيب المجهرية للسبائك المنتجة بعد عملية المجانسة عند درجة حرارة (340 °C) لمدة ساعة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



الشكل (3) التراكيب المجهرية للسبائك المنتجة عند قمة الصلادة
A1 : (تعتيق لمدة 2hr عند درجة حرارة 220°C)
A2:(تعتيق لمدة 3hr عند درجة حرارة 220°C)
A3,A4,A5 :(تعتيق لمدة 4hr عند درجة حرارة 220°C)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



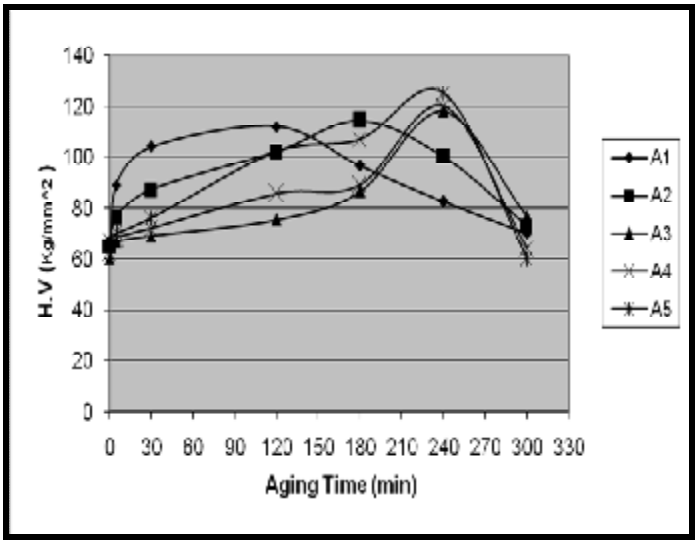
A1 A2

A3 A4

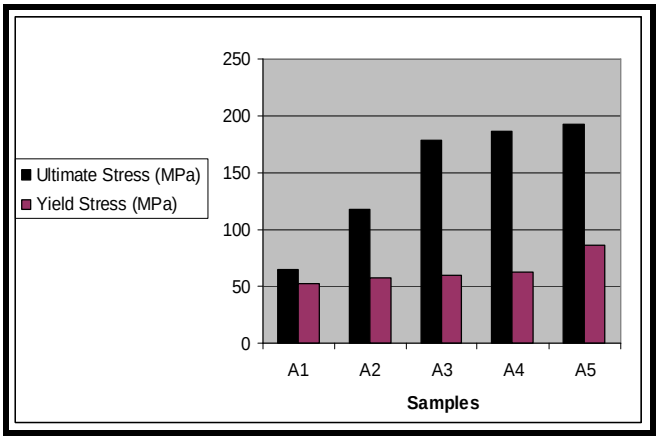
A5

الشكل (4) التراكيب المجهرية للسبائك المنتجة عند الأفراط بالتعتيق

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

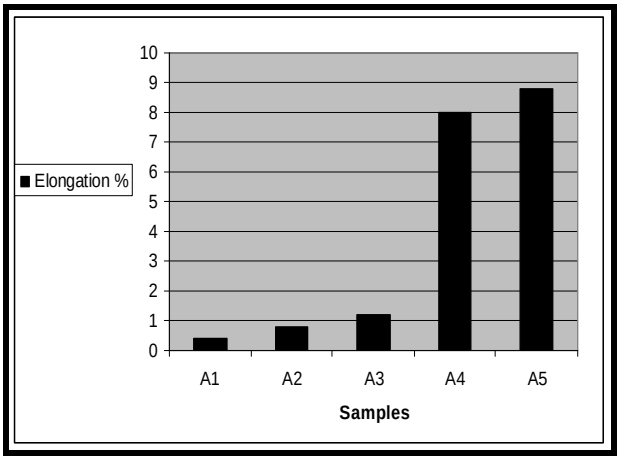


الشكل (5) العلاقـــــة بين زمـــن التعتيـــق عند درجة حرارة ثابتة (220°C) والصـــــلادة

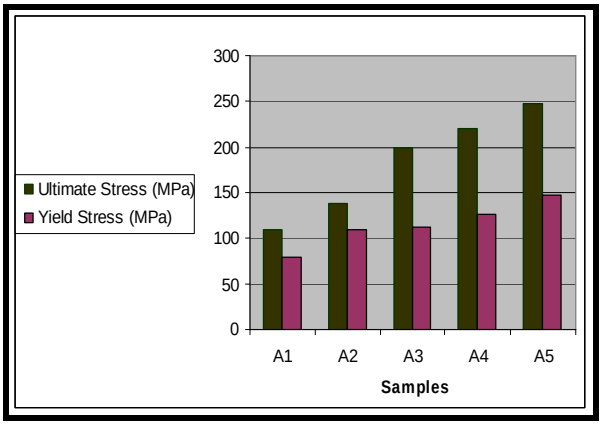


الشكل (6) قيم مقاومة الشد ومقاومة الخضوع للسبائك المنتجة بعد عملية الصب مباشرة

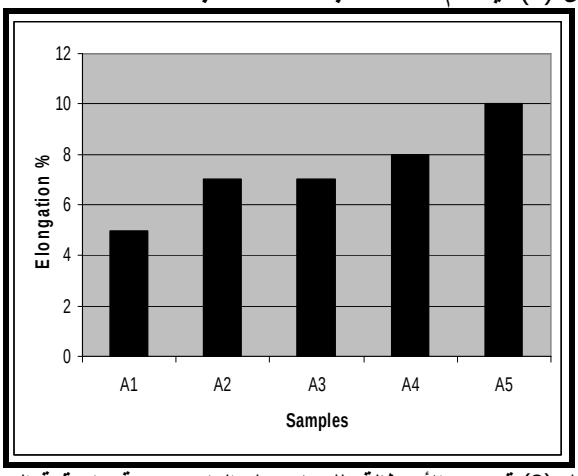
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



الشكل (7) قيم الأستطالة للسبائك المنتجة بعد عملية الصب مباشرة

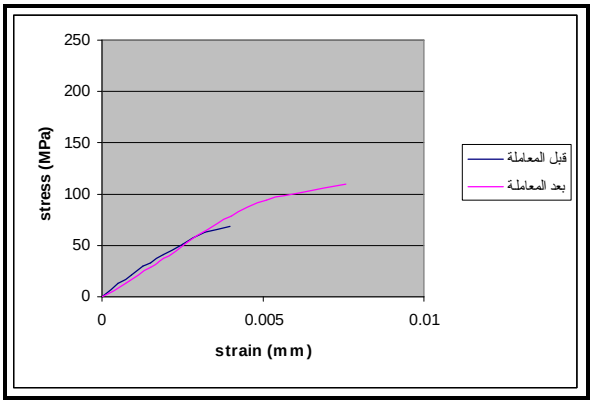


الشكل (8) قيـــم الشد للسبائـــك المنتجـــة عند قمة الصلادة

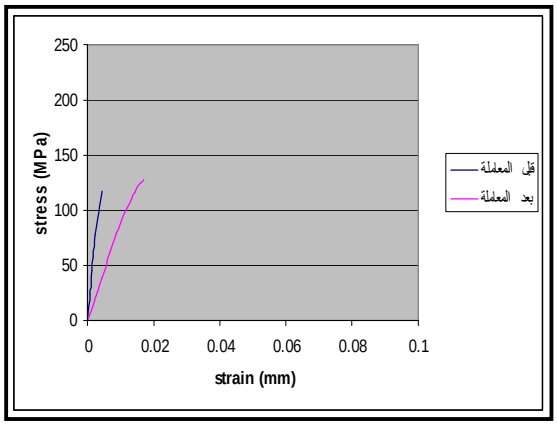


الشكل (9) قيـــم الأستطالة للسبائـــك المنتجـــة عند قمة الصلادة

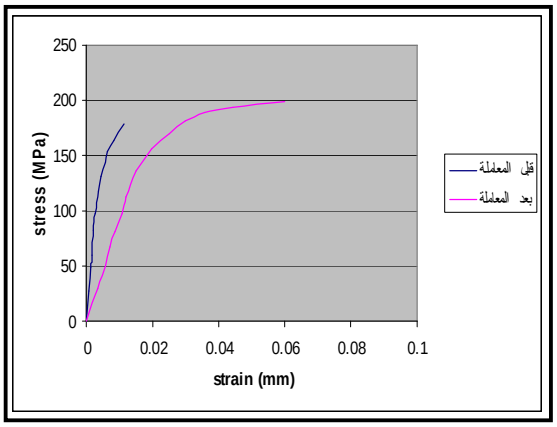
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



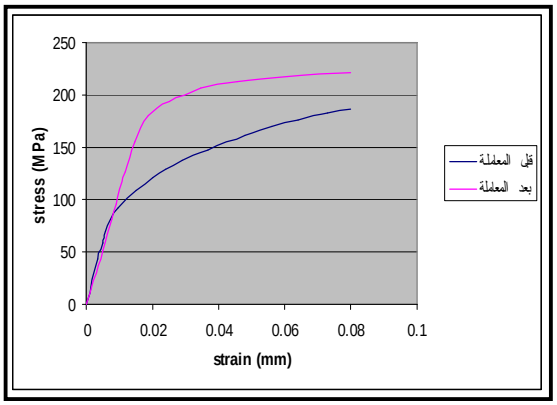
A1



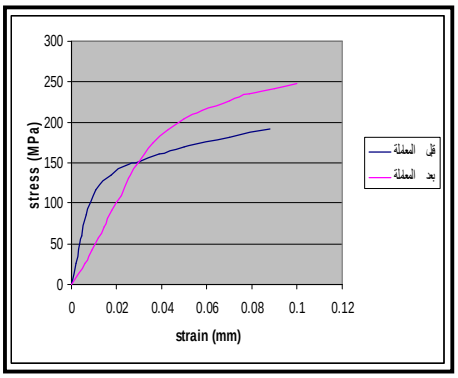
A2



A3



A4



A5

الشكل (10) مخطط اجهاد – انفعال الهندسي للسبائك المنتجة قبل المعاملة الحرارية وبعد المعاملة الحرارية

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com