تأثير المعالجات الحرارية وإضافة النيكل على الخواص الميكانيكية لسبائك الألومنيوم عالية المقاومة

فؤاد ضحية، و محمود الأسعد، و محمد يحيى النيفاوي

قسم هندسة التصميم والإنتاج، جامعة البعث، حمص، سوريا

المستخلص. تنتج سبائك السلسلة 7xxx من سبائك الألومنيوم بإضافة الزنك Zn بشكل أساسي، والمغنسيوم، Mg والنحاس، Cu للألومنيوم، وتتمتع بخواص ميكانيكية عالية تميزها عن باقي سبائك الألومنيوم. تمت في هذا البحث دراسة تأثير إضافة نسب مختلفة من النيكل [0.1, 0.5, 1] wt%، والمعالجات الحرارية المختلفة، وهي معالجة التعتيق الاصطناعي T6، ومعالجة الإرجاع وإعادة التعتيق RRA، على خواص الشد وقساوة فيكرز والبنية المجهرية للسبيكة الألومنيوم 7075. وقد تبين أن معالجة الإرجاع وإعادة التعتيق RRA تعطي نتائج أفضل مما تعطيه معالجة التعتيق الاصطناعي T6، كما أن إضافة النيكل بشكل عام قد أدت للحصول على بنية بلورية أنعم للسبيكة المدروسة ولارتفاع قيم خواص الشد وقساوة فيكرز للسبيكة.

الكلمات المفتاحية: سبائك Al-Zn-Mg-Cu، التعتيق الاصطناعي T6، الإرجاع وإعادة التعتيق RRA، إضافة النيكل، خواص الشد، قساوة فيكرز، البنية المجهرية.

١- المقدمة

ينتشر فلز الألومنيوم في صخور الأرض بنسبة تفوق كل الفلزات الأخرى، فهو يمثل نحو 8% من القشرة الأرضية، والألومنيوم معدن ذو لون أبيض فضي، وزنه خفيف جداً فوزنه النوعي 2.7 gr/cm^3 ، أي ما يعادل ثلث الوزن النوعي للفلوذا، وهو موصل جيد للحرارة والكهرباء، إذ تبلغ موصليته ثلثي موصلية

النحاس، إلا أنه معدن قساوته منخفضة لا تتعدى 40 HB، ومقاومته على الشد لا تزيد عن 90 N/mm^2 ولهذا فإن معظم التطبيقات والمجالات التي نستخدم فيها الألومنيوم يكون في صورة سبائكية بإضافة عناصر سبائكية للألومنيوم، وإن العناصر السبائكية الأساسية التي تضاف للألومنيوم هي: النحاس Cu، والمغنسيوم Mg، والمنجنيز Mn، والسيلكون Si، والزنك Zn، ونحصل بإضافة هذه العناصر

للألومنيوم على سبائك الألومنيوم الأساسية، والتي ترقم حسب جمعية الألومنيوم Aluminum Association كما يلي [١]:

- 1xxx الألومنيوم النقي (99.0% أو أكثر نقاوة)
- 2xxx سبائك الألومنيوم - نحاس
- 3xxx سبائك الألومنيوم - منغنيز
- 4xxx سبائك الألومنيوم - سيليكون
- 5xxx سبائك الألومنيوم - مغنسيوم
- 6xxx سبائك الألومنيوم - مغنسيوم - سيليكون
- 7xxx سبائك الألومنيوم - زنك
- 8xxx سبائك الألومنيوم - عناصر أخرى

تتميز كل سلسلة من هذه السلاسل بخاصية تميزها عن باقي السلاسل، كالموصلية الكهربائية الممتازة التي تتمتع بها سبائك السلسلة الأولى 1xxx، لذلك تستخدم في التطبيقات الكهربائية؛ والمقاومة العالية جدًا كسبائك السلسلتين 2xxx و 7xxx، وتستخدم بكثرة في صناعة أجزاء ومكونات الطائرات؛ أما السلسلة 3xxx فنتمتع بقابلية تشكيل وتوصيل حراري، فتستخدم في تصنيع علب المشروبات الغازية والمبادلات الحرارية؛ وتتمتع سبائك السلسلة 5xxx بمقاومة ممتازة للتآكل، لذلك تستخدم في صناعة السفن؛ أما سبائك السلسلة 6xxx فنتمتع بقابلية ممتازة للتشكيل بالثق، لذلك تصنع منها المنتجات المتعددة ذات المقاطع المختلفة بالثق [٢].

عادةً ما تُعرض سبائك الألومنيوم القابلة للمعالجة الحرارية لمعالجات التعتيق الاصطناعي لتحسين الخواص الميكانيكية لها وتغيير البنية

البلورية، إذ يبدأ التعتيق من المعالجة الحرارية المحلولة عند درجات حرارة عالية لضمان انحلال جميع العناصر في طور الألومنيوم الأساس، ومن ثم التبريد المفاجئ إلى درجة حرارة الغرفة (سقاية)، للوصول إلى المحلول الصلب المشبع، حيث تتشكل العناصر المترسبة لاحقاً أثناء المعالجة الحرارية بالتعتيق.

يبدأ التعتيق في سبائك الألومنيوم بتشكيل مناطق Guinier - Preston (GP) التي تكون عبارة عن محاليل غنية بالذرات المنحلة تنتشر بشكل عقد متماسكة، والتي تقوم بفعل تشوه في البنية البلورية، هذه العقد تقوم بمقاومة حركة الانخلاعات، ما يؤدي إلى زيادة متانة المعدن، فعلى سبيل المثال تزداد متانة سبائك السلسلة 7xxx بسبب ترسب الطور $MgZn_2$ بشكل عناقيد، والتي تشكل طور ثاني η ضمن محلول الألومنيوم الأساس α [٣].

كما يمكن تحسين خواص سبائك الألومنيوم أيضاً بإضافة بعض العناصر السبائكية الأخرى، فمثلاً يحسن البورون B من الموصلية الكهربائية لسبائك الألومنيوم المستخدمة في التطبيقات الكهربائية، إلا أنه يزيد صعوبة تشغيل السبائك بسبب تشكيله للبوريدات، في حين يحسن الكاديوم Cd والرصاص Pb والقصدير Sn من قابلية التشغيل، ويحسن الكروم Cr من المقاومة للتآكل ويزيد من الحساسية للسقاية عند تواجده بنسب مرتفعة، ويستخدم النيكل Ni مع الرصاص لتعزيز الخواص في درجات الحرارة المرتفعة ويقلل من معامل التمدد

الباحث M. Esmailian وزملاؤه تأثير زمن الإرجاع [30-40-50] min في معالجة الـ RRA على خواص الشد وقساوة السبيكة 7055، حيث أدت معالجة RRA لخواص شد أفضل من معالجة T6، وقد أدت زيادة زمن الإرجاع لزيادة كل من حجم الحبيبات وكثافة الترسيبات، مما يؤثر على الخواص الميكانيكية^[٧]. أما الباحث R. Ranganatha وزملاؤه فقاموا بتطبيق معالجات حرارية مختلفة على السبيكة 7049، وهي: T6 و T73، وأخيراً معالجة RRA^[٨].

وقد قامت مجموعة أخرى من الباحثين بدراسة تأثير شروط التعتيق على خواص السبيكة المدرسة، حيث درس الباحث Chen Song وزملاؤه تأثير التعتيق ثلاثي المراحل على خواص السبيكة 7085، وقد أدى التعتيق ثلاثي المراحل لتحسين المقاومة على الشد بمقدار 5% عن التعتيق الثنائي، مع تحسين مقاومة التآكل SCC^[٩]، وقد درس الباحث Cheng Cao وزملاؤه تأثير التعتيق المسبق على قساوة السبيكة 2% Zn - 5.2% Mg - Al المحتوية على 0.45% نحاس، إذ أدى التعتيق المسبق لكثافة أكثر للطور $T-Mg_{32}(Al, Zn)_{49}$ ونعومة حبيباته، بحيث تحول من الشكل الشبيه بالشرائح الخشنة إلى شكل أنعم، كما أدى لاضمحلال الطور S- Al_2MgCu الشبيه بالإبر، مما تسبب في ازدياد قيم القساوة^[١٠، ١١].

مجموعة أخرى من الباحثين عملوا على تحسين خواص سبائك الألومنيوم من السلسلة السابعة بإضافة نسب من بعض العناصر السبائكية،

الحراري، وتسهم الفضة Ag في التقسية بالترسيب ومقاومة التآكل بالتشقق الإجهادي، ويحسن القصدير Sn من مقاومة الاحتكاك لذلك يستخدم في صناعة المحامل، ويستخدم التيتانيوم Ti لتنعيم حبيبات مسبوكات الألومنيوم المصبوبة^[٤].

تعتبر سبائك السلسلة 7xxx من أهم سبائك الألومنيوم، وهي السبائك الحاوية على عنصر الزنك كعنصر رئيس، إضافة للمغنسيوم والنحاس (Al-Zn-Mg-Cu)، حيث تؤدي إضافة هذه العناصر لخواص جيدة لهذه السبائك. وقد درس العديد من الباحثين خواص سبائك السلسلة 7xxx بسبب خواصها المميزة والمناسبة لعدد كبير من التطبيقات، وبشكل خاص تطبيقات الصناعات الجوية والفضائية، إذ تتمتع سبائك السلسلة 7xxx عالية المقاومة بخواص ممتازة، وخاصةً بعد تطبيق المعالجات الحرارية عليها كمقاومة الشد العالية مع خفة الوزن، وقابلية تشكيل ممتازة، ومقاومة تآكل مقبولة، وواحدة من أكثر هذه المعالجات الحرارية أهمية هي "معالجات الإرجاع وإعادة التعتيق (RRA)"، التي تؤدي لخواص ميكانيكية ومقاومة تآكل بشكل أفضل من معالجة التعتيق الاصطناعي T6 التقليدية. وقد بين ذلك الباحث F. Viana وزملاؤه^[٥] والباحث A.F. Oliveira وزملاؤه^[٦]، حيث قاموا بدراسة تأثير المعالجات الحرارية T6 و T7 و RRA على بنية السبائك 7050 و 7150 و 7075 وقساوتها ومقاومتها للشد ومقاومتها للتآكل بالتشقق الإجهادي SCC، وحصلوا على أفضل النتائج عند تطبيق المعالجة RRA. وقد درس

الحرارية T6 و RRA على البنية المجهرية وقساوة فيكرز وخواص الشد لسبيكة الألومنيوم 7075 المحتوية على النسب المذكورة من النيكل.

٢- الجانب العملي

تم استلام السبيكة 7075 موضوع البحث، وكانت على شكل بيليت بسماكة 12 cm. ويبين الجدول ١ التركيب الكيميائي لسبيكة ألومنيوم - زنك - مغنسيوم - نحاس 7075، ويظهر فيه التركيب القياسي للسبيكة 7075 وفق توصيف جمعية الألومنيوم^[١]، والتركيب التجريبي لهذه السبيكة بعد تحليلها باستخدام جهاز التحليل الطيفي Spectrolab.

تم تحضير السبائك المراد اختبارها في هذا البحث بوزن قطع من سبيكة الألومنيوم 7075 ثم حساب الكمية المقابلة لها من بودرة النيكل (ذات نقاوة 99.9%) بحيث تحقق هذه الكميات المضافة من النيكل النسب الوزنية المطلوبة في العينات المدروسة، وهي wt% (0.1, 0.5, 1) [Ni] مع مراعاة زيادة الكمية المحسوبة بمقدار قليل بحدود 10% لاعتبارات الفقد الحاصل في كمية النيكل المضاف بنتيجة الاحتراق والتأكسد وعدم الذوبان. وقد تم تغليف بودرة النيكل برقائق من الألومنيوم النقي للتقليل من التأكسد والاحتراق أثناء عملية الصهر، الأمر الذي سيؤدي لانخفاض نسبته الوزنية.

وضعت هذه القطع الموزونة من سبيكة الألومنيوم 7075 مع بودرة النيكل المغلفة برقائق الألومنيوم في بوتقة غرافيتية، وأجريت عملية الصهر

حيث قام الباحث Zhanying Guo وزملاؤه بدراسة تأثير محتوى الزركونيوم Zr بنسب [0.05, 0.1, 0.15]، وبارامترات معالجة المجانسة الحرارية على الحجم الحبيبي لسبيكة الألومنيوم 7150. وقد أدت المجانسة ثنائية المراحل لحجم حبيبي أنعم للسبيكة 7150 وكثافة أعلى لرواسب Al_3Zr ^[١٢]. أما الباحث Xing Huang وزملاؤه فقد درسوا تأثير إضافة 0.1% زركونيوم و 0.1% سكانديوم، وشروط مختلفة للمعالجات الحرارية (المجانسة والمحلولة والتعتيق الاصطناعي) على خواص الشد للسبيكة ذات التركيب $Mg-1.98\% Zn-5.43\% Al$ ^[١٣]، ودرس الباحث P.K. Mandal وزملاؤه تأثير إضافة السكانديوم بنسبة 0.4% و 0.45% على قساوة السبيكة $Mg-3\% Zn-6\% Al$ مع تطبيق معالجة التعتيق الاصطناعي لفترات زمنية ودرجات حرارة مختلفة، وقد حصلوا على أعلى نتيجة عند التعتيق في درجة الحرارة $120^\circ C$ لمدة 16 ساعة ونسبة السكانديوم 0.45%^[١٤]. أما الباحث Ch. Shiva Krishna فقام بإضافة النيكل لسبيكة الألومنيوم 7075 بنسب وزنية للنيكل بمقدار wt% (0.35 - 2.3)، وقام بدراسة تأثير هذه الإضافة على خواص الشد والقساوة والصدم للسبيكة بدون دراسة تأثير المعالجات الحرارية المختلفة لهذه السبيكة المحتوية على نسب من النيكل^[١٥].

أما في هذا البحث فقد تمت إضافة النيكل بنسب مختلفة wt% [0.1, 0.5, 1] إلى سبيكة الألومنيوم 7075 وتمت دراسة تأثير المعالجات

جهاز Spectrolab. ويبين الجدول ٢ التركيب الكيميائي للمسبوكات المدروسة في البحث.

جدول ٢. التركيب الكيميائي لسبائك 7075 مع نسب من النيكل (wt%).

العنصر	A	B	C	D
النيكل Ni	-	0.12	0.53	1.07
السيليسيوم Si	0.085	0.085	0.083	0.081
التيتانيوم Ti	0.05	0.049	0.048	0.046
الكروم Cr	0.18	0.179	0.179	0.178
الحديد Fe	0.17	0.169	0.169	0.168
النحاس Cu	1.8	1.798	1.791	1.782
المغنسيوم Mg	2.35	2.347	2.338	2.326
المنجنيز Mn	0.01	0.01	0.01	0.01
الزنك Zn	5.8	5.794	5.771	5.742
الألومنيوم Al	Bal.	Bal.	Bal.	Bal.

عُرضت جميع المسبوكات للمعالجة الحرارية المحلولية في درجة الحرارة 480°C لمدة 8 hour ثم تمت السقاية في الماء البارد، ثم تم تطبيق حالتين مختلفتين من المعالجات الحرارية على المسبوكات A, B, C, D، الحالة الأولى هي المعالجة الحرارية (T6)، والحالة الثانية هي معالجة إعادة التعتيق بعد الإرجاع (RRA). حيث تم تطبيق معالجة T6 بتعتيق المسبوكات اصطناعياً في درجة الحرارة 120°C لمدة 24 hour ثم السقاية في الماء البارد. أما المعالجة (RRA) فقد تمت بالتعتيق الاصطناعي الأول في درجة الحرارة 120°C لمدة 24 hour، ثم الإرجاع في درجة الحرارة 180°C لمدة 30 min، ثم إعادة التعتيق الاصطناعي في درجة الحرارة 120°C لمدة 24 hour.

في فرن كهربائي ذي درجة حرارة عظمى 1200°C ، وتم الصهر في درجة حرارة 850°C [١٦]. ومن أجل ضمان ذوبان وانتشار النيكل في المصهور تم إبقاؤه في درجة الحرارة هذه لمدة 5 hour. وقد تم تحريك المصهور جيداً كل نصف ساعة تقريباً باستخدام قضيب جرافيتي لضمان تجانس توزيع النيكل في المصهور.

جدول ١. النسب الوزنية للعناصر في السبيكة 7075.

العنصر	التركيب القياسي	التركيب التجريبي
السيليسيوم Si	< 0.4	0.085
التيتانيوم Ti	< 0.2	0.05
الكروم Cr	0.18–0.28	0.18
الحديد Fe	< 0.5	0.17
النحاس Cu	1.2–2	1.8
المغنسيوم Mg	2.1–2.9	2.35
المنجنيز Mn	< 0.3	0.01
الزنك Zn	5.1–6.1	5.8
الألومنيوم Al	Bal.	Bal.

ثم سُكب المصهور في قالب فولاذي، والمبين في الشكل ١، والمعد مسبقاً للحصول على المسبوكات الأسطوانية، والتي كانت بقطر 25 mm وارتفاع 150 mm، وتم تسخين القالب المعدني قبل عملية الصب إلى الدرجة 300°C ، لتلافي التجمد المسبق للمصهور وللتقليل من عيوب السباكة في المسبوكات الناتجة. وأخيراً تم إخراج المسبوكات من داخل القالب بعد تبريده. وقد تم التأكد من التركيب الكيميائي للمسبوكات بالتحليل الطيفي باستخدام

شكل ١. القالب الفولاذي المستخدم للصب.

٣- النتائج ومناقشتها

٣-١ خواص الشد

تم إجراء اختبار الشد وفق المواصفة ASTM-B557 باستخدام جهاز الاختبار TINIUS OLSEN H25KS، ويظهر في الشكل ٢ أبعاد عينة الشد المختبرة.

ويظهر في الشكلين ٣ و ٤ قيم إجهاد الخضوع ومقاومة الشد على التوالي للسبيكة 7075 الأساس وسبائك 7075 المحتوية على نسب $[0.1, 0.5, 1] \text{ wt\%}$ من النيكل عند تعريضها لنوعين مختلفين من المعالجة الحرارية هما T6 و RRA.

ونلاحظ من الشكلين ٣ و ٤ أن خواص الشد (مقاومة شد وإجهاد خضوع) للسبيكة 7075 لمختلف حالات المعالجات الحرارية (بعد الصب، و T6، و RRA) قد ازدادت قيمها بزيادة نسبة النيكل حتى تبلغ 0.5%، وبزيادة نسبة النيكل فوق هذه القيمة بدأت قيم خواص الشد بالانخفاض. كما يمكن ملاحظة أن المعالجة الحرارية RRA أعطت نتائج أفضل مما أدت إليه المعالجة الحرارية T6، إذ نجد أن القيمة العظمى لمقاومة الشد كانت للسبيكة

المحتوية على 0.5% نيكل $UTS=415 \text{ Mpa}$ ولإجهاد الخضوع $YS=379 \text{ Mpa}$ ، وذلك عند تطبيق المعالجة الحرارية T6، في حين ارتفعت هذه القيم عند تطبيق المعالجة الحرارية RRA عند نفس نسبة النيكل وبلغت 437 Mpa لمقاومة الشد UTS و 403 Mpa وإجهاد الخضوع YS .

٣-٢ دراسة القساوة

تم إجراء اختبار القساوة وفق المواصفة ASTM-E92 باستخدام جهاز قياس قساوة فيكرز من النوع HARTEPRÜFER GNEHM:230 وزمن تطبيق الحمل 20 sec، والحمل المطبق 4 Kgf. وقد أخذت خمس قراءات للقساوة من كل عينة من مناطق مختلفة لتحديد القيمة المتوسطة للقساوة.

ويظهر في الشكل ٥ قيم قساوة فيكرز للسبيكة 7075 الأساس وسبائك 7075 المحتوية على نسب $[0.1, 0.5, 1] \text{ wt\%}$ من النيكل، عند تعريضها للمعالجة الحرارية T6 أو RRA.

وكذلك نلاحظ من الشكل ٥ أن قساوة السبيكة 7075 من أجل مختلف حالات المعالجات الحرارية

النيكل على التوالي، وذلك من أجل المعالجات الحرارية المختلفة بعد الصب (بدون معالجة حرارية)، ومعالجة T6، ومعالجة RRA.

ويمكن ملاحظة أن البنية المجهرية للعينات قبل تعريضها للمعالجات الحرارية T6 أو RRA، أي للعينات بعد الصب، احتوت على شبكة تشعبات داخلية حول الحبيبات الأولية، وعلى العديد من الحبيبات الناعمة المتساوية والمحتوية على حبيبات متعامدة فيما بينها، وأن كثافة الشبكة التشعبية بدأت بالتناقص تدريجاً بعد تطبيق المعالجة T6، وأصبحت كثافة الشبكة التشعبية أقل عند تطبيق المعالجة RRA، كما يمكن ملاحظة أن المعالجات الحرارية قد أدت لانخفاض الحجم الحبيبي وتنعيم البنية البلورية للسبيكة 7075، وأن الانخفاض في الحجم الحبيبي بنتيجة المعالجة الحرارية RRA كان أكثر مما هو عليه عند تطبيق المعالجة T6، وأن هذا التغير الحاصل في الحجم الحبيبي إضافةً للتغيرات في الأطوار المترسبة (هذا التغير في الأطوار تمت دراسته في بحث آخر لنا) قد أدى لتحسين الخواص الميكانيكية (مقاومة الشد الأعظمية UTS، وإجهاد الخضوع σ_s ، والقساوة HV) للسبيكة 7075.

كما يمكن ملاحظة أن إضافة النيكل للسبيكة 7075 أدت بشكل عام لإنقاص الحجم الحبيبي، وأن أصغر حجم حبيبي حصلنا عليه عندما كانت نسبة النيكل في السبيكة 0.5%، وهذا ما يفسر أن أعلى قيم خواص الشد والقساوة كانت من أجل السبائك المحتوية على 0.5% نيكل والمعرضة للمعالجة RRA.

(بعد الصب، T6، RRA) قد ازدادت قيمتها بزيادة نسبة النيكل حتى تبلغ 0.5%، وبزيادة نسبة النيكل فوق هذه القيمة بدأت قساوة السبيكة بالانخفاض. كما يمكن ملاحظة أن المعالجة الحرارية RRA أعطت نتائج أفضل مما أدت إليه المعالجة الحرارية T6 أيضاً، إذ نجد أن القيمة العظمى لقساوة السبيكة المحتوية على 0.5% نيكل هي 227 HV عند تطبيق المعالجة الحرارية T6، في حين ارتفعت قساوة السبيكة عند تطبيق المعالجة الحرارية RRA عند نفس نسبة النيكل وبلغت 232 HV.

٣-٣ دراسة البنية المجهرية

للحصول على الصور المجهرية وفق المواصفة ASTM-E3، تم استخدام المجهر الضوئي B-353 Met Optika وبمقدار تكبير 200X، حيث سُحِذت سطوح العينات باستخدام جهاز الشد نصف الآلي بورق الشد المائي ذي الدرجات ٦٠٠، ٨٠٠، ١٠٠٠، و١٢٠٠، ثم صقلت باستخدام معجون الألماس الصناعي $0.25 \mu m$ ، ثم تم تخريش سطوح العينات بغمسها لزمن يتراوح بين (١٠-٢٠) ثانية في محلول الإظهار Keller وهو ذو التركيب التالي^[١٧]:

1 cm³ HF, 1.5 cm³ HCl, 2.5 cm³ HNO₃, 95 cm³ H₂O

وبين شكل ٦ الصور المجهرية لعينات من السبيكة 7075 الأساس غير الحاوية على النيكل أما الأشكال ٧-٩ فتبين الصور المجهرية لعينات من السبيكة 7075 والحوية على نسب 0.1%، 0.5%، 1% من

شكل ٢. أبعاد عينة الشد بـ mm.

شكل ٣. تغير إجهاد الخضوع لسبيكة الألومنيوم 7075 بتغير نسبة النيكل وطريقة المعالجة الحرارية.

شكل ٤. تغير مقاومة الشد لسبيكة الألومنيوم 7075 بتغير نسبة النيكل وطريقة المعالجة الحرارية.

شكل ٥. تغير قساوة فيكرز لسبيكة الألومنيوم 7075 بتغير نسبة النيكل وطريقة المعالجة الحرارية.

بعد معالجة RRA

بعد معالجة T6

بعد الصب- بدون معالجة حرارية

شكل ٦. الصور المجهرية بتكبير 200X للسبيكة 7075 بدون إضافة النيكل بعد تطبيق مختلف المعالجات الحرارية.

بعد معالجة RRA

بعد معالجة T6

بعد الصب- بدون معالجة حرارية

شكل ٧. الصور المجهرية بتكبير 200X للسبيكة 7075 مع إضافة النيكل بنسبة 0.1% بعد تطبيق مختلف المعالجات الحرارية.

بعد معالجة RRA

بعد معالجة T6

بعد الصب- بدون معالجة حرارية

شكل ٨. الصور المجهرية بتكبير 200X للسبيكة 7075 مع إضافة النيكل بنسبة 0.5% بعد تطبيق مختلف المعالجات الحرارية.

بعد معالجة RRA

بعد معالجة T6

بعد الصب- بدون معالجة حرارية

شكل ٩. الصور المجهرية بتكبير 200X للسبيكة 7075 مع إضافة النيكل بنسبة 0.1% بعد تطبيق مختلف المعالجات الحرارية.

٤ - الاستنتاجات

٤. تحسنت الخواص الميكانيكية للسبيكة

7075 عند إضافة النيكل بشكل عام، وكانت القيم الأعلى لهذه الخواص بتطبيق المعالجة RRA عند إضافة 0.5% نيكل، في حين انخفضت هذه القيم بزيادة نسبة النيكل فوق القيمة المذكورة، إذ ازدادت قيم كل من مقاومة الشد وإجهاد الخضوع وقساوة فيكرز بمقدار 103.25% و 123.9% و 78.5% على التوالي عند إضافة 0.5% نيكل للسبيكة عما كانت عليه بدون إضافة النيكل، وعند تطبيق نفس المعالجة الحرارية RRA.

٥. أدت إضافة النيكل للسبيكة 7075 بشكل عام لإنقاص الحجم الحبيبي للسبيكة، وقد حصلنا على أصغر حجم حبيبي عندما كانت نسبة النيكل في السبيكة 0.5%.

المراجع

[١] Ten, George E. Tot and Mackenzie, D. Scott (2003) *Handbook of Aluminum, Volume 7 Physical Metallurgy And Processes*, Marcel Dekker, Inc.

[٢] Tapanyudomphol (2007), *Aluminum and Its Alloy*,

١. حسنت المعالجة الحرارية T6 الخواص الميكانيكية لسبيكة الألومنيوم 7075 بدون أية إضافة للنيكل، إذ ازدادت قيم كل من مقاومة الشد، وإجهاد الخضوع، وقساوة فيكرز بمقدار 88.9% و 56.25% و 90% على التوالي.

٢. وقد ازدادت قيم هذه الخواص لسبيكة الألومنيوم 7075 بدون أية إضافة للنيكل بشكل أكبر عند تطبيق المعالجة الحرارية RRA، إذ ازدادت قيم كل من مقاومة الشد وإجهاد الخضوع وقساوة فيكرز بمقدار 111% و 81.25% و 110% على التوالي.

٣. أدت المعالجات الحرارية إلى انخفاض الحجم الحبيبي وتنعيم البنية البلورية للسبيكة 7075، والانخفاض في الحجم الحبيبي نتيجة المعالجة الحرارية RRA كان أكثر مما هو عليه عند تطبيق المعالجة T6.

Linzhong, and Zhang, Jishan (2016) "Effects of Cu Addition On The Precipitation Hardening Response and Intergranular Corrosion of Al-5.2mg-2.0zn (Wt.%) Alloy," *Materials Characterization*, No. **122**, PP: 177–182.

Di Zhang, Cheng Cao, Zhuang, Linzhong and Zhang, Jishan (2017) "Improved Age-Hardening Response and Altered Precipitation Behavior Of Al-5.2mg-0.45cu-2.0zn (Wt%) Alloy With Pre-Aging Treatment," *Journal Of Alloys and Compounds*, No. **691**, PP: 40-43. [١١]

Guo, Zhanying, Zhao, Gang and Chen, X. Grant (2015) "Effects of Two-Step Homogenization on Precipitation Behavior of Al3Zr Dispersoids and Recrystallization Resistance in 7150 Aluminum Alloy," *Materials Characterization*, No. **102**, PP: 122–130. [١٢]

Huang, Xing, Pan, Qinglin, Li, Bo, Liu, Zhiming, Huang, Zhiqi and Yin, Zhimin (2015) "Microstructure, Mechanical Properties and Stress Corrosion Cracking of Al-Zn-Mg-Zr Alloy Sheet With Trace Amount of Sc.", *Journal of Alloys and Compounds*, **650**: 805-820. [١٣]

Mandal, P.K., Anant, Ramkishor, Kumar, Ravindra and Muthaiah, V.M. Rajavel (2017) "Effect Of Scandium on Ageing Kinetics in Cast Al-Zn-Mg Alloys," *Materials Science & Engineering A*, No. **696**, PP: 257–266. [١٤]

Ten, George E. Tot and Scott, D. Mackenzie (2003) *Handbook of Aluminum*, Volume 7 Physical Metallurgy And Processes, Marcel Dekker, Inc. [١٥]

Habashi (2008) *Alloys: Preparation, Properties, Applications*, 5 Ed., John Wiley & Sons. [١٦]

Gale, William F. and Totemeier, Terry C. (2004) *Smithells Metals Reference Book*, 8 Ed., Butterworth-Heinemann. [١٧]

Suranaree University of Technology.

Hull, Derek and Bacon, D. J. (2011) *Introduction to Dislocations*, 5 Ed., Elsevier. [٣]

Kaufman, J. Gilbert and Rooy, Elwin L. (2004) *Aluminum Alloy Castings Properties, Processes, and Applications*, Asm International. [٤]

Viana, F., Pinto, A. M. P., Santos, H. M.C. and Lopes, A. B. (1999) "Retrospection And Re-Ageing Of 7075 Aluminium Alloy Microstructural Characterization", *Journal of Materials Processing Technology*, No. 92±93: 54±59. [٥]

Oliveira, A.F. Jr., De Barros, M.C., Cardoso, K.R. and Travessa, D.N. (2004) "Materials Science And Engineering A," *The Effect Of Rra on the Strength And Sc Resistance on Aa7050 and Aa7150 Aluminium Alloys*, No. **379**, PP: 321–326. [٦]

Esmailian, M., Shakouri, M., Mottahedi, A. and Shabestari, S. G. (2015) "Effect Of T6 and Re-Aging Heat Treatment on Mechanical Properties of 7055 Aluminum Alloy," *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, PP: 1291-1294. [٧]

Ranganatha, R., Kumar, V. Anil, Nandi, Vaishaki S., Bhat, R. R. and Muralidhara, B. K. (2013) "Multi-Stage Heat Treatment Of Aluminum Alloy Aa7049", *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, No. **23**, PP: 1570-1575. [٨]

Song-Yi, Chen, Kang-Hua, Chen, Peng-Xuan, Dong, Sheng-Ping, Ye, Lan-Ping, Huang and Dai-Jun, Yang (2016) "Effect of A Novel Three-Step Aging On Strength, Stress Corrosion Cracking and Microstructure Of Aa7085", *J. Cent. South Univ.*, No. **23**, PP: 1858–1862. [٩]

Di Zhang, Cheng Cao, Qibiaoma, Xuwang, Zhuang, [١٠]

The Effect of Heat Treatments and Nickel Additive on the Mechanical Properties of High Strength Aluminum Alloy

Fouad El Dahiye, Mahmoud Al Assaad and Mohamad Y. Al Nefawy

Design and Production Engineering Department, Al-Baath University, Homs, Syria

Abstract. The aluminum alloys of the 7xxx series consist of Al with Zn mainly, with Mg and Cu. 7xxx aluminum alloys has high mechanical properties making it distinct from other aluminum alloys. In this paper, the effect of adding Nickel and heat treatments on tensile properties, Vickers hardness and microstructure of the 7075 aluminum alloy, were examined. Different percentages of nickel [0.1, 0.5, 1] Wt.% to 7075 Aluminum alloy were added, and applied various heat treatments (artificial aging T6 and retrogression and re-aging RRA) on the 7075 alloys that containing nickel. By applying RRA treatment, we obtained better results than the results obtained by applying T6 treatment, and with the addition of nickel to alloy 7075; also we obtained a smoother microstructure for the studied alloys and rise tensile properties and Vickers hardness of alloys.

Keywords: Al-Zn-Mg-Cu alloys, Artificial aging T6, Retrogression and re-aging RRA, Nickel additive, Tensile properties, Vickers hardness, Microstructure.