

تأثير المعالجات الحرارية وإضافة النيكل على بنية وقساوة سبيكة الألمنيوم 7075

The Effect of Heat Treatments and Nickel Additive on The Microstructure and Hardness of 7075 Aluminum Alloy

د. محمود الأسعد¹، م. محمد يحيى النيفاوي^{2*}

1- قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث، حمص، سوريا

2 - قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث، حمص، سوريا

* yahya.nefawy@gmail.com

تاريخ النشر: 15/ 09/2019

تاريخ القبول: 25/08/2019

تاريخ الاستلام: 10/02/2019

ملخص:

تنتج سبائك السلسلة 7xxx من سبائك الألمنيوم من إضافة الزنك Zn بشكل أساسي والمغنيزيوم Mg والنحاس Cu للألمنيوم، وتتمتع بخواص ميكانيكية عالية تميزها عن باقي سبائك الألمنيوم، فمنها في هذا البحث بدراسة 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 البنية المجهرية والإطوار المتشكلة وقساوة فيكرز لسبيكة الألمنيوم 7075. وقد تبين أن معالجة RRA تعطي نتائج أفضل مما تعطيه معالجة T6، كما أن إضافة النيكل بشكل عام قد أدت للحصول على بنية بلورية أنعم للسبيكة المدروسة ولارتفاع قيم قساوة فيكرز للسبيكة.

كلمات مفتاحية: ألمنيوم-زنك-مغنيزيوم-نحاس، التعتيق الاصطناعي، الإرجاع وإعادة التعتيق، إضافة النيكل، القساوة، بنية مجهرية.

Abstract

The aluminum alloys of the 7xxx series consist of Al with Zn mainly, Mg and Cu. 7xxx aluminum alloys has high mechanical properties making it distinct from other aluminum alloys. In this paper, we examine the effect of adding Nickel and heat treatments on the microstructure and hardness of the 7075 aluminum alloy. Were we added different percentages of nickel [0.1, 0.5, 1] wt% to 7075 Aluminum alloy, 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 we obtained the high values of hardness and a smoother microstructure for the studied alloys by the addition of (0.5 wt%) nickel to alloy 7075.

Keywords

Al-Zn-Mg-Cu Alloys, Retrogression and re-aging RRA, Artificial Aging T6, Nickel additive, Vickers hardness, Micro-structure

المقدمة

الصلب المشبع (Super Saturated Solid (SSSS) حيث تتشكل العناصر المترسبة لاحقاً أثناء المعالجة الحرارية بالتعتيق.

يبدأ التعتيق في سبائك الألمنيوم بتشكيل مناطق Guinier – Preston (GP zones) التي تكون عبارة عن محاليل غنية بالذرات المنحلة تنتشر بشكل عقد متماسكة Coherent Clusters التي 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 الألمنيوم الأساس α (Derek Hull, D. J. Bacon, 2011).

من الممكن أيضاً تحسين خواص سبائك الألمنيوم بإضافة بعض العناصر السبائكية الأخرى فمثلاً يحسن البورون B من الموصلية الكهربائية لسبائك الألمنيوم 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 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 لتعيم حبيبات مسبوكات الألمنيوم المصبوبة (J. Gilbert Kaufman & Elwin L. Rooy, 2004).

تعتبر سبائك السلسلة 7xxx من أهم سبائك الألمنيوم وهي السبائك الحاوية على عنصر الزنك كعنصر رئيسي إضافة للمغنيزيوم 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، حيث تتمتع سبائك السلسلة 7xxx عالية المقاومة بخواص ممتازة وخاصة بعد تطبيق المعالجات الحرارية عليها كمقاومة الشد العالية مع خفة الوزن، وقابلية تشكيل ممتازة، ومقاومة تآكل مقبولة، واحدة من أكثر هذه المعالجات الحرارية أهمية هي معالجات الإرجاع وإعادة التعتيق (RRA) Retrogression and re-aging التي تؤدي لخواص ميكانيكية ومقاومة تآكل أفضل من الخواص الناتجة عن معالجة التعتيق الاصطناعي T6 التقليدية، وقد بين ذلك الباحث F. Viana وزملاؤه (Viana, P. Pinto, M.C. Santos, & B. Lopes, 1999) والباحث A.F. Oliveira, Jr., وزملاؤه (A.F. Oliveira, Jr., M.C. de Barros, K.R. Cardoso, & D.N. Travessa, 2004) حيث قاموا بدراسة تأثير المعالجات الحرارية T6 و T7 و RRA على بنية السبائك 7050 و 7150 و 7075 وقساوتها ومقاومتها للشد ومقاومتها

ينتشر فلز الألمنيوم في صخور الأرض بنسبة تفوق كل الفلزات الأخرى، فهو يمثل نحو 8% من القشرة الأرضية، والألمنيوم معدن ذو لون أبيض فضي، وزنه خفيف جداً فوزنه النوعي 2.7 gr/Cm^3 ، أي ما يعادل ثلث الوزن النوعي للفولاذ، 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 الألمنيوم يكون في صورة سبائكية بإضافة عناصر سبائكية للألمنيوم، وإن العناصر السبائكية الأساسية التي تضاف للألمنيوم هي: النحاس Cu، والمغنيزيوم Mg، والمغنيز Mn، والسليكون Si، والزنك Zn، ونحصل بإضافة هذه العناصر للألمنيوم على سبائك الألمنيوم الأساسية والتي ترقم حسب جمعية الألمنيوم Aluminum Association كما يلي (George E. Tot ten & D. Scott MacKenzie, 2003)

- 1xxx الألمنيوم النقي ببقاوة $\leq 99.0\%$
- 2xxx سبائك الألمنيوم - نحاس
- 3xxx سبائك الألمنيوم - منغنيز
- 4xxx سبائك الألمنيوم - سيليكون
- 5xxx سبائك الألمنيوم - مغنيزيوم
- 6xxx سبائك الألمنيوم - مغنيزيوم - سيليكون
- 7xxx سبائك الألمنيوم - زنك
- 8xxx سبائك الألمنيوم - 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 جداً لسبائك السلسلتين 2xxx و 7xxx وتستخدم بكثرة في صناعة أجزاء ومكونات الطائرات، أما السلسلة 3xxx فتتمتع 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 فتتمتع بقابلية ممتازة للتشكيل بالبيثق لذلك تصنع منها المنتجات المتعددة ذات المقاطع المختلفة بالبيثق (TapanyUdomphol, 2007).

عادة ما تُعرض سبائك الألمنيوم القابلة للمعالجة الحرارية لمعالجات التعتيق الاصطناعي لتحسين بنيتها البلورية وخواصها الميكانيكية، حيث يبدأ التعتيق من المعالجة المحلولة Solution Treatment عند درجات حرارة عالية لضمان انحلال جميع العناصر في طور الألمنيوم الأساس ومن ثم التبريد المفاجئ إلى درجة حرارة الغرفة (سقاية) للوصول إلى المحلول

عناصر مثل النحاس والزركونيوم والسكانديوم بنسب محددة على خواص هذه السبائك، وأيضاً فمن الباحثين من قام بدراسة تأثير إضافة عنصر مع تطبيق المعالجات الحرارية المختلفة. أما في هذا البحث فقد قمنا بدراسة تأثير إضافة النيكل بنسب مختلفة 0.1, 0.5, 1] wt% إلى السبيكة 7075 مع دراسة تأثير المعالجات الحرارية T6 و RRA على البنية المجهرية وقساوة فيكرز لسبيكة الألمنيوم 7075 المحتوية على النيكل. تم استخدام السبيكة 7075 موضوع البحث وكانت على شكل بليت بسماكة [Cm] 12، وبيّن الجدول 1 التركيب الكيميائي لسبيكة ألمنيوم - زنك - مغنيزيوم - نحاس 7075 ويظهر فيه التركيب القياسي للسبيكة 7075 وفق توصيف جمعية الألمنيوم (George E. Tot ten & D. Scott MacKenzie, 2003)، والتركيب التجريبي لهذه السبيكة بعد تحليلها باستخدام جهاز التحليل الطيفي Spectrometer.

جدول (1) النسب الوزنية للعناصر في السبيكة 7075 (% wt)

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
المغنيزيوم Mg	2.1-2.9	2.35
المغنيز Mn	< 0.3	0.01
الزنك Zn	5.1-6.1	5.8
الألمنيوم Al	Bal.	Bal.

تم تحضير السبائك المراد اختبارها في هذا البحث بوزن قطع من سبيكة الألمنيوم 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 % Ni (0.1, 0.5, 1) مع مراعاة زيادة الكمية المحسوبة بمقدار قليل بحدود 10% لاعتبارات الفقد الحاصل في كمية النيكل المضاف نتيجة الاحتراق والتأكسد وعدم الذوبان، وقد قمنا بتغليف بودرة النيكل برفائق من الألمنيوم النقي للتقليل من التأكسد والاحتراق أثناء عملية الصهر الأمر الذي سيؤدي لانخفاض نسبته الوزنية عن نسبته المطلوبة.

وضعت هذه القطع الموزونة من سبيكة الألمنيوم 7075 مع بودرة النيكل المغلفة برفائق الألمنيوم في بوتقة غرافيتية وأجريت عملية الصهر في الفرن الكهربائي المبين في الشكل 1 عند درجة حرارة °C 850، ومن أجل ضمان ذوبان وانتشار النيكل في المصهور تم إبقاؤه في درجة الحرارة هذه لمدة [hour] 5، وقد تم تحريك المصهور جيداً باستخدام قضيب غرافيتي لضمان تجانس توزع النيكل في المصهور.

للتآكل بالتشقّق الإجهادي SCC وحصلوا على أفضل النتائج عند تطبيق المعالجة RRA.

وقد قام مجموعة أخرى من الباحثين بدراسة تأثير شروط التعتيق على خواص السبيكة المدروسة حيث درس الباحث Prasanta Kumar Rout وزملاؤه تأثير شروط تعتيق مختلفة (درجات حرارة وأزمنة مختلفة) على خواص الشد وقساوة السبيكة 7017، وقد حصلوا على أعلى قيم لإجهاد الخضوع (YS=400 Mpa) عند تطبيق المعالجة T6 في درجة حرارة °C 120 لمدة 24 ساعة (Rout, Ghosh, & Ghosh, 2015).

أما الباحث Cheng Cao وزملاءه فقاموا بدراسة تأثير التعتيق المسبق على قساوة السبيكة ذات التركيب Al-5.2% Mg-2% Zn-0.45% Cu، وقد أدى التعتيق المسبق المطبق لكثافة أكثر للطور $T Mg_{32}(Al, Zn)$ ونعومة حبيباته حيث تحول من الشكل الشبيه بالشرائح الخشنة إلى شكل أنعم، كما أدى لاضمحلال الطور S-Al₂MgCu الشبيه بالإبر مما سبب في ازدياد القساوة من 100 فيكرز إلى 125 فيكرز (Cheng Cao, Di Zhang, Linzhong Cao, et al., 2016) (Cheng Cao, Di Zhang, Linzhong Cao, et al., 2016) (Zhuang, & Jishan Zhang, 2017) أما الباحث CHEN Song وزملاءه فقاموا بدراسة 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 (CHEN Song-yi, et al., 2016) مجموعة أخرى من الباحثين عملوا على تحسين خواص سبائك الألمنيوم من السلسلة السابعة بإضافة نسب من بعض العناصر السبائكية حيث قام الباحث Zhanying Guo وزملاؤه بدراسة تأثير محتوى الزركونيوم Zr بنسب [0.05, 0.1, 0.15] % وبارامترات مختلفة لمعالجة المجانسة الحرارية أحادية وثنائية المراحل على الحجم الحبيبي لسبيكة الألمنيوم 7150، وقد أدت المجانسة ثنائية المراحل لحجم حبيبي أنعم وكثافة أعلى لرواسب Al₃Zr (Zhanying Guo, Gang Zhao, & X. Grant Chen, 2015).

أما الباحث Xing Huang وزملاؤه فقد درسوا تأثير إضافة الزركونيوم Zr 0.1% والسكانديوم Sc 0.1% والبارامترات المختلفة للمعالجة الحرارية المحلولة والتعتيق الاصطناعي على خواص السبيكة ذات التركيب Al-5.43%Zn-1.98%Mg والذي بلغت قيمته YS=500 Mpa عند تطبيق المعالجة الحرارية المحلولة في الدرجة °C 470 لمدة 60 min وتعتيق اصطناعي في الدرجة °C 120 لمدة 24 h (Xing Huang, et al., 2015).

منهجية البحث

نلاحظ من الدراسات والأبحاث المعروضة ذات الصلة بأن مجموعة من الباحثين قد قاموا بدراسة تأثير المعالجات الحرارية المختلفة (RRA, T6، مجانسة، معالجة محلولة، تعتيق ثنائي وثلاثي المراحل، ...) بشروط وبارامترات مختلفة (درجات حرارة وأزمنة) على خواص سبائك الألمنيوم من العائلة 7xxx، في حين درس مجموعة أخرى من الباحثين تأثير إضافة

الألمنيوم Al Bal. Bal. Bal. Bal. حيث تم تطبيق معالجة T6 بتعتيق المسبوكات اصطناعياً في درجة الحرارة $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ لمدة 24 hour ثم السقاية في الماء البارد، أما المعالجة (RRA) فقد تمت بالتعتيق الاصطناعي الأول في درجة الحرارة $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ لمدة 24 hour ثم الإرجاع Retrogression في درجة الحرارة $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ لمدة 30 min ثم إعادة التعتيق الاصطناعي في درجة الحرارة $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ لمدة 24 hour.

النتائج والمناقشة

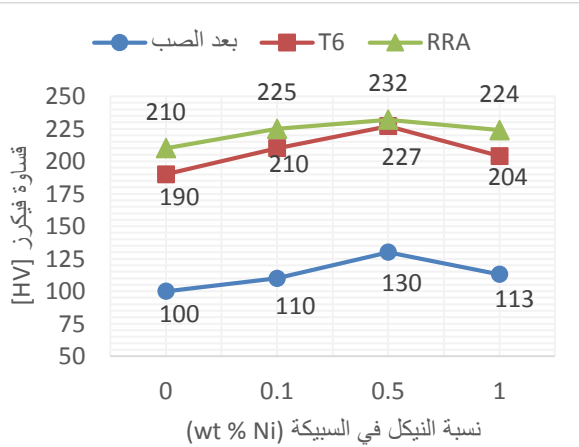
اختبار القساوة:

تم إجراء اختبار القساوة وفق المواصفة ASTM-E92 بواسطة جهاز قياس قساوة فيكرز المبين في الشكل 3 وهو من النوع HARTEPRÜFER GNEHM:230 زمن تطبيق الحمل [sec] 20 والحمل المطبق 4 [Kgf]، وقد أخذت خمس قراءات للقساوة من كل عينة من مناطق مختلفة لتحديد القيمة المتوسطة للقساوة.



الشكل (3) جهاز قياس قساوة فيكرز

ويظهر في الشكل 4 قيم قساوة فيكرز للسبيكة 7075 المحتوية على نسب [0, 0.1, 0.5, 1]wt% من النيكل عند تعريضها للمعالجة الحرارية T6 أو RRA



الشكل (4) تغير قساوة فيكرز لسبيكة الألمنيوم 7075 بتغير نسبة النيكل وطريقة المعالجة الحرارية

ثم سُكب المصهور في القالب الفولاذي المبين في الشكل 2 والمعد مسبقاً للحصول على المسبوكات الاسطوانية والتي كانت بقطر 25 mm وارتفاع 150 mm، وقد تم تسخين القالب المعدني قبل عملية الصب إلى الدرجة $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 جهاز Spectrometer، ويبين الجدول 2 التركيب الكيميائي لعينات من المسبوكات المدروسة في البحث.



شكل (1) a-الفرن الكهربائي المستخدم في الصهر، b- البوتقة داخل الفرن

عُرِضت جميع المسبوكات للمعالجة الحرارية المحلولية في درجة الحرارة $480\text{ }^{\circ}\text{C}$ لمدة 8 hour ثم تمت السقاية في الماء البارد. ثم تم تطبيق حالتين مختلفتين من المعالجات الحرارية على المسبوكات، الحالة الأولى هي المعالجة الحرارية T6 والحالة الثانية هي معالجة إعادة التعتيق بعد الإرجاع Retrogression and Re-Ageing (RRA).



الشكل (2) القالب الفولاذي المستخدم للصب

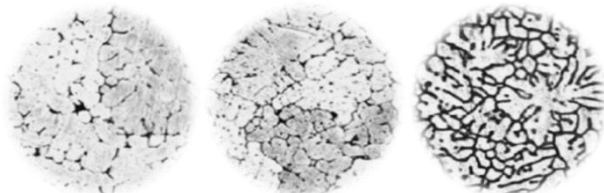
جدول (2) التركيب الكيميائي لسبائك 7075 مع نسب من النيكل (wt %)

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
المغنزيوم Mg	2.35	2.347	2.338	2.326
المنغنيز Mn	0.01	0.01	0.01	0.01
الزنك Zn	5.8	5.794	5.771	5.742

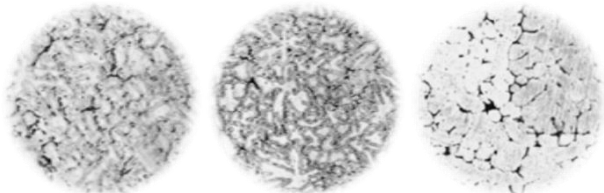
سطوح العينات بغمسها لزمان يتراوح بين (10-20) ثانية. في محلول الإظهار Keller's Reagent وهو ذو التركيب التالي (William F. Gale, Terry C. Totemeier, 2004):
 $1 \text{ Cm}^3 \text{ HF}$, $1.5 \text{ Cm}^3 \text{ HCL}$, $2.5 \text{ Cm}^3 \text{ HNO}_3$, $95 \text{ Cm}^3 \text{ H}_2\text{O}$
 وتبين الأشكال 5, 6, 7, 8 الصور المجهرية لعينات من السبيكة 7075 الأساس والسبائك الحاوية على نسب 1%, 0.5%, 0.1% نيكل ومن أجل المعالجات الحرارية المختلفة بعد الصب (بدون معالجة حرارية)، معالجة T6، معالجة RRA.



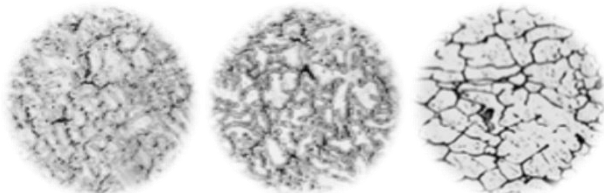
الشكل (5) الصور المجهرية بتكبير 200X للسبيكة 7075 بدون إضافة النيكل بعد تطبيق مختلف المعالجات الحرارية



الشكل (6) الصور المجهرية بتكبير 200X للسبيكة 7075 مع إضافة النيكل بنسبة 0.1% بعد تطبيق مختلف المعالجات الحرارية



الشكل (7) الصور المجهرية بتكبير 200X للسبيكة 7075 مع إضافة النيكل بنسبة 0.5% بعد تطبيق مختلف المعالجات الحرارية



الشكل (8) الصور المجهرية بتكبير 200X للسبيكة 7075 مع إضافة النيكل بنسبة 1% بعد تطبيق مختلف المعالجات الحرارية

نلاحظ من الشكل 4 أن قساوة السبيكة 7075 بشكل عام (مع وبدون إضافة النيكل) قد تحسنت بنتيجة تطبيق المعالجات الحرارية إلا أن مقدار التحسن في قساوة فيركز للسبيكة والنتائج عن تطبيق المعالجة الحرارية RRA كان أعلى من التحسن الناتج بعد تطبيق المعالجة الحرارية T6، حيث نجد مثلاً أن قساوة فيركز للسبيكة 7075 بدون إضافة النيكل كانت 100HV قبل المعالجة الحرارية وأصبحت 190 HV بتطبيق المعالجة الحرارية T6 في حين ازدادت بشكل أكبر لتصل إلى 210 HV بتطبيق المعالجة RRA.

كما نلاحظ من الشكل 4 أن قساوة السبيكة 7075 من أجل مختلف حالات المعالجات الحرارية (بعد الصب، T6، RRA) قد ازدادت قيمتها بزيادة نسبة النيكل حتى تبلغ 0.5%، وبزيادة نسبة النيكل فوق هذه القيمة بدأت قساوة السبيكة بالانخفاض. وقد حصلنا على أعلى قيمة لقساوة فيركز بتطبيق المعالجة RRA على السبيكة المحتوية على 0.5% نيكل حيث نجد أن القيمة العظمى لقساوة السبيكة المحتوية على 0.5% نيكل 227 HV عند تطبيق المعالجة الحرارية T6 في حين ارتفعت قساوة السبيكة عند تطبيق المعالجة الحرارية RRA عند نفس نسبة النيكل وبلغت 232 HV.

يمكن مقارنة هذه القيمة للقساوة (وهي أعلى قيمة للقساوة حصلنا عليها في هذا البحث) مع أعلى قيم لقساوة سبائك الألمنيوم من السلسلة السابعة التي حصل عليها الباحثين باستخدام طرق ومعالجات ذات بارامترات مختلفة، يوضح الجدول (3) هذه المقارنة، ويمكن ملاحظة أن قيمة القساوة التي حصلنا عليها في هذا البحث باستخدام السبيكة 7075 بإضافة 0.5%Ni وتطبيق المعالجة RRA هي القساوة الأعلى من بين الأبحاث المعروضة.

جدول (3) مقارنة القساوة مع نتائج الأبحاث ذات الصلة

سبيكة الألمنيوم	المعالجة المطبقة	أعلى قيمة للقساوة	البحث
7150	T6	191 HV	[1]
7050	T6	180 HV	[1]
7085	تعتيق ثلاثي المراحل	172 HV	[2]
Al-5.2Mg-2Zn	تعتيق مسيق، وإضافة 0.45%Cu	125 HV	[3], [4]
7B50	RRA مضاعف	177 HV	[8]
7075	RRA مع إضافة 0.5%Ni	232 HV	البحث الحالي

فحص البنية المجهرية:

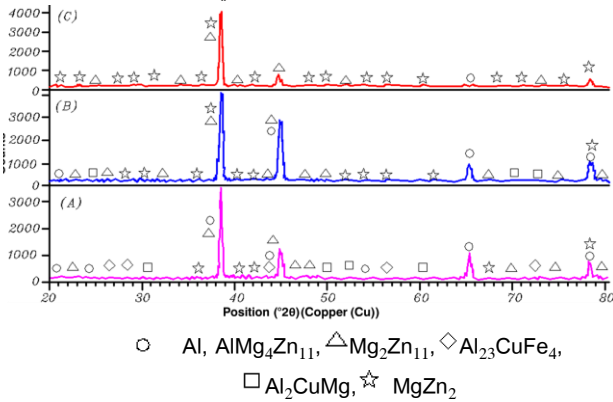
تم الحصول على الصور المجهرية وفق المواصفة ASTM-E3 باستخدام المجهر الضوئي B-353 Met Optika وبمقدار تكبير 200X حيث سُحنت سطوح العينات باستخدام جهاز الشد نصف الآلي بورق الشد المائي ذات الدرجات 600 ، 800 ، 1000 ، 1200 على التوالي، ثم صقلت باستخدام معجون الألماس الصناعي 0.25 μm ، ثم تم تخريش

بلي (Guo-sheng PENG, Kang-hua CHEN, Song-yi (Robert J.Flynn & CHEN, & Hua-chan FANG, 2012) : J.S.Robinson, 2004)

محلول صلب مفرط الإشباع ← مناطق Guinier-Preston (GP) المستقرة والمتماسكة ← الطور η' -Mg₂Zn₁₁ الوسيط وشبه المتماسك. ← الأطوار T-AlMg₄Zn₁₁ أو η -MgZn₂ المستقرة وغير المتماسكة. إن الطور η' -Mg₂Zn₁₁ متبدل الاستقرار هو طور التقسية الأولية بالترسيب لهذه السبائك أي أن الترسيبات الأولية عند التعتيق هي مناطق GP والطور η' -Mg₂Zn₁₁.

ويبين الشكل B-10 طيف انعراج الأشعة السينية XRD للسبيكة الأساس 7075 المعالجة بالتعتيق الاصطناعي T6، حيث تظهر في السبيكة الأطوار الأكثر أهمية وهي η -MgZn₂ و η' -Mg₂Zn₁₁، إن هذه الأطوار تتحلل خلال معالجة المجانسة الحرارية ثم تُرسب خلال معالجة التعتيق T6. في حين لم نلاحظ أي ذروة انعراج واضحة للطور Al₂₃CuFe₄ عند المعالجة الحرارية T6.

ويمكن أن نلاحظ من الشكل C-10 ارتفاع قمم الأطوار MgZn₂ و MgZn₁₁ عند معالجة السبيكة 7075 بالمعالجة RRA، إن الأطوار الأولية المترسبة في السبيكة وهي مناطق GP الناعمة والمتشعبة والطور η' تكون قد خضعت في معالجة RRA للتعتيق في الخطوة الأولى لهذه المعالجة وأثناء الإرجاع انحلت مناطق GP في الطور η أو η' ، ومع الإرجاع المطول تحولت مناطق GP غير المنحلة إلى الطور η' والذي ينحل في جولات الإرجاع الأخرى (Wuhua Yuan, Jian Zhang, (Ian Chenchen Zhang, & Zhenhua Chen, 2009) Polmear, 2006)، وبالتالي يمكن القول أخيراً بأنه تم تثبيت نوى وفيرة تعزز من إعادة ترسيب مناطق GP والطور η' في الخطوة التالية للتعتيق.



الشكل (10) طيف انعراج الأشعة السينية للسبيكة 7075 الأساس.

(A) بعد الصب، (B) بعد معالجة T6، (C) بعد معالجة RRA

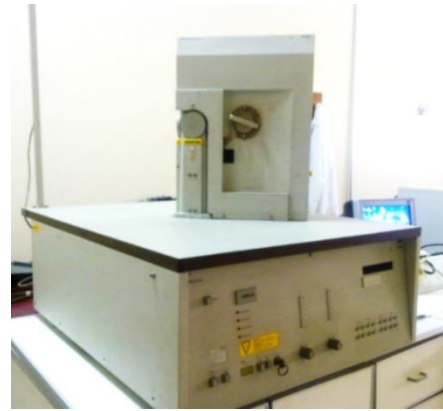
يبين الشكل 11 طيف انعراج الأشعة السينية XRD لسبيكة الألمنيوم 7075 والمضاف لها 0.5% نيكل، بعد مختلف المعالجات الحرارية: (A) بعد الصب و (B) بعد المعالجة T6 و (C) بعد معالجة RRA ويمكن

ويمكن ملاحظة أن البنية المجهرية للعينات قبل تعريضها للمعالجات الحرارية T6 أو RRA إي للعينات بعد الصب احتوت على تشعبات Dendrites أولية للمحلول الصلب الغني بالألمنيوم وشبكة التشعبات الداخلية والمكونات المعدنية الداخلية حول الحبيبات الأولية، وتحتوي على العديد من الحبيبات الناعمة المتساوية والمحتوية على حبيبات متعامدة فيما بينها، وإن كثافة الشبكة التشعبية بدأت بالتناقص تدريجياً وأصبحت الأطوار المتبقية صغيرة ومتفرقة عند 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 نتيجة المعالجة الحرارية RRA كان أكثر مما هو عليه عند تطبيق المعالجة T6، وإن هذا التغير الحاصل في الحجم الحبيبي إضافة للتغيرات في الأطوار المترسبة قد أدى لتحسين قساوة فيكرز 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.

تحليل انعراج الأشعة السينية XRD

تم إجراء اختبارات انعراج الأشعة السينية على العينات بهدف تفسير التغير في الخواص الميكانيكية (قساوة فيكرز) حيث تم استخدام جهاز من نوع Philips طراز PW 1830 المبين في الشكل 9.



الشكل (9) جهاز اختبار انعراج الأشعة السينية XRD

يبين الشكل 10 طيف انعراج الأشعة السينية XRD لسبيكة الألمنيوم الأساس 7075 بعد مختلف المعالجات الحرارية: (A) بعد الصب و (B) بعد المعالجة T6 و (C) بعد معالجة RRA ويمكن ملاحظة بأنها تتألف بشكل أساسي من الطور α -Al والأطوار الثانوية وهي: الطور T-AlMg₄Zn₁₁ والطور S-Al₂CuMg والطور η -MgZn₂ والطور η' -MgZn₁₁ (FAN Xi-gang, JIANG Da-ming, Al₂₃CuFe₄ و Mg₂Zn₁₁ MENG Qing-chang, ZHANG Bao-you, & WANG Tao, 2006)، وإن أحداث الترسيب في سبائك السلسلة السابعة للألمنيوم كما

2. وقد ازدادت قساوة سبيكة الألمنيوم 7075 - غير الحاوية على إضافات من النيكل - بشكل أكبر عند تطبيق المعالجة الحرارية RRA (التعتيق 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) حيث ازادت قيمة قساوة فيكرز من 100 HV إلى 210 HV أي أن قساوة فيكرز لسبيكة الألمنيوم 7075 قد ازدادت بمعدل 110% بتطبيق المعالجة الحرارية RRA.

3. تحسنت قساوة السبيكة 7075 عند إضافة النيكل ومن أجل تطبيق كلتا المعالجتين الحراريتين T6 و RRA، وقد كانت أعلى قيم قساوة فيكرز عند نسبة وزنية للنيكل 0.5% حيث بلغت قساوة فيكرز للسبيكة 7075 227 HV عند تطبيق المعالجة الحرارية T6 (الزيادة بمعدل 127%)، وكانت قيمة القساوة أعلى مع تطبيق المعالجة الحرارية RRA حيث بلغت القيمة العظمى 232 HV (الزيادة بمعدل 132%).

4. عند زيادة النسبة الوزنية للنيكل عن 0.5% ومن أجل تطبيق كلتا المعالجتين الحراريتين T6 و RRA، انخفضت قيم قساوة فيكرز لسبيكة الألمنيوم 7075.

5. أدت كلتا المعالجتين الحراريتين T6 و RRA لانخفاض الحجم الحبيبي وتعيم البنية البلورية للسبيكة 7075 وإن الانخفاض في الحجم الحبيبي بنتيجة المعالجة الحرارية RRA كان أكثر مما هو عليه عند تطبيق المعالجة T6.

6. كما 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%، وهذا ما يفسر حصولنا على أعلى قيمة للقساوة للسبيكة 7075 عند إضافة هذه النسبة من النيكل (0.5%) مع تطبيق المعالجة الحرارية RRA.

7. تبين عند تحليل عينة من سبيكة الألمنيوم 7075 والمضاف لها 0.5% نيكل بانعراج الأشعة السينية XRD وجود قمم في الطيف للأطوار Al_3Ni_2 ، Al_4Ni_3 والأطوار η -MgZn₁₁ وهي الأطوار المسؤولة عن ارتفاع قيم قساوة فيكرز للسبيكة.

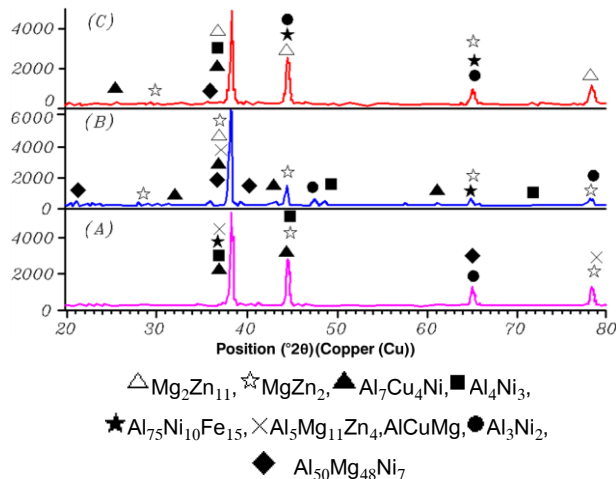
قائمة المراجع

1. A.F. Oliveira, Jr., M.C. de Barros, K.R. Cardoso, & D.N. Travessa. (2004). Materials Science and Engineering A. *The effect of RRA on the strength and SCC resistance on AA7050 and AA7150 aluminium alloys*(379), pp. 321–326.

ملاحظة أن طيف انعراج الأشعة السينية يتألف بشكل أساسي من α -(Al) والأطوار الثانوية والمركبات المعدنية Intermetallic T-Al₅Mg₁₁Zn₄, S-Al₂CuMg, Al₇Cu₄Ni, Al₅₀Mg₄₈Ni₇, Mg₂Zn, Al₄Ni₃, Al₇₅Ni₁₀Fe₁₅, Al₃Ni₂ حيث أشارت نتائج تحليل طيف انعراج الأشعة السينية للسبيكة 7075 المضاف لها 0.5% نيكل إلى تواجد المركبات المعدنية الغنية بالنيكل في السبيكة، ووفقاً لمخططات التوازن للأطوار Al-Ni و Al-Cu-Ni و Al-Fe-Ni (V. S. Zolotarevsky & N. A. Belov, 2007) يظهر أنه من الممكن أن يتحد النيكل مع الألمنيوم أو النحاس أو الحديد لتشكيل مركبات معدنية وإن هذه المركبات الغنية بالنيكل كان لها الدور الأساسي لارتفاع قيم قساوة فيكرز للسبيكة 7075.

ويظهر في الشكل B-11 طيف انعراج الأشعة السينية للسبيكة 7075 المضاف لها 0.5% نيكل بعد معالجتها بالتعتيق الاصطناعي T6 وتظهر فيه الأطوار Mg₂Zn₁₁, MgZn₂, Al₇₅Ni₁₀Fe₁₅, Al₄Ni₃ إضافة للمركبات الموجودة بالفعل من مرحلة سقاية العينة، وقد ظهرت لهذه الأطوار المشتتة قمم عالية في طيف انعراج الأشعة السينية XRD بسبب ذوبان العناصر السبائكية والنيكل في السبيكة بفعل معالجات المجانسة الحرارية.

كما يمكن أن نلاحظ من الشكل C-11 ارتفاع قمم الأطوار Al_4Ni_3 ، $Al_75Ni_{10}Fe_{15}$ ، Al_3Ni_2 والأطوار η -MgZn₂ و η -MgZn₁₁ عند معالجة السبيكة 7075 المضاف لها 0.5% نيكل بالمعالجة RRA.



الشكل (11) طيف انعراج الأشعة السينية للسبيكة 7075 مع إضافة 0.5% نيكل، (A) بعد الصب، (B) بعد معالجة T6، (C) بعد معالجة RRA الاستنتاجات

1. تحسنت قساوة فيكرز لسبيكة الألمنيوم 7075 - غير الحاوية على إضافات من النيكل - بتطبيق المعالجة الحرارية T6 (التعتيق الاصطناعي في درجة الحرارة 120 °C لمدة 24 hour) ، حيث ازادت قيمة قساوة فيكرز من 100 HV إلى 190 HV أي أن قساوة فيكرز لسبيكة الألمنيوم 7075 قد ازدادت بمعدل 90% بتطبيق المعالجة الحرارية T6.

15. Viana, F., P.Pinto, A. M., M.C. Santos, H., & B. Lopes, A. (1999). Retrogression and re-ageing of 7075 aluminium alloy microstructural characterization. *Journal of Materials Processing Technology*(92±93), p. 54±59.
16. William F. Gale, Terry C. Totemeier. (2004). *Smithells Metals Reference Book* (8 ed.). Butterworth-Heinemann.
17. Wuhua Yuan, Jian Zhang, Chenchen Zhang, & Zhenhua Chen. (2009). Processing of ultra-high strength SiCp/Al–Zn–Mg–Cu composites. *Journal of Materials Processing Technology*(209), pp. 3251-3255.
18. Xing Huang, Qinglin Pan, Bo Li, Zhiming Liu, Zhiqi Huang, & Zhimin Yin. (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*.
19. Zhanying Guo, Gang Zhao, & X.Grant Chen. (2015). Effects of two-step homogenization on precipitation behavior of Al₃Zr dispersoids and recrystallization resistance in 7150 aluminum alloy. *Materials Characterization*(102), pp. 122–130.
2. CHEN Song-yi, CHEN Kang-hua, DONG Peng-xuan, YE Sheng-ping, HUANG Lan-ping, & YANG Dai-jun. (2016). Effect of a novel three-step aging on strength, stress corrosion cracking and microstructure of AA7085. *J. Cent. South Univ.*(23), p. 1858–1862.
3. Cheng Cao, Di Zhang, Linzhong Zhuang, & Jishan Zhang. (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*(691), pp. 40-43.
4. Cheng Cao, Di Zhang, XuWang, QibiaoMa, Linzhong, Zhuang, & Jishan Zhang. (2016). Effects of Cu addition on the precipitation hardening response and intergranular corrosion of Al-5.2Mg-2.0Zn (wt.%) alloy. *Materials Characterization*(122), pp. 177–182.
5. Derek Hull, D. J. Bacon. (2011). *introduction to Dislocations* (5 ed.). Elsevier.
6. FAN Xi-gang, JIANG Da-ming, MENG Qing-chang, ZHANG Bao-you, & WANG Tao. (2006). Evolution of eutectic structures in Al-Zn-Mg-Cu alloys during heat treatment. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*(16), pp. 577-581.
7. George E. Tot ten, & D. Scott MacKenzie. (2003). *Handbook of Aluminum Volume 7 Physical Metallurgy and Processes*. MARCEL DEKKER, INC.
8. Guo-sheng PENG, Kang-hua CHEN, Song-yi CHEN, & Hua-chan FANG. (2012). Influence of dual retrogression and re-aging temper on microstructure, strength and exfoliation corrosion behavior of Al–Zn–Mg–Cu alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*(22), pp. 803-809.
9. Ian Polmear. (2006). *Light Alloys - From Traditional Alloys to Nanocrystals* (4 ed.). Butterworth-Heinemann.
10. J. Gilbert Kaufman, & Elwin L. Rooy. (2004). *Aluminum Alloy Castings Properties, Processes, and Applications*. ASM International.
11. Robert J.Flynn, & J.S.Robinson. (2004). The application of advances in quench factor analysis property prediction to the heat treatment of 7010 aluminium alloy. *Journal of Materials Processing Technology*(153–154), pp. 674-680.
12. Rout, P. K., Ghosh, M. M., & Ghosh, K. S. (2015). Microstructural, mechanical and electrochemical behavior of a 7017 Al-Zn-Mg alloy of different tempers. *Materials Characterization*.
13. TapanyUdomphol. (2007). *Aluminum and its Alloy*. Suranaree University of Technology.
14. V. S. Zolotarevsky, & N. A. Belov. (2007). *Casting Aluminum Alloys*. USA: Alcoa Technical Center, Alcoa Center.