



## تأثير المعالجات الحرارية وإضافة النيكل على بنية وخواص الشد لسبيكة الألمنيوم 7075

محمد يحيى النيفاوي<sup>1\*</sup>، فؤاد ضحية<sup>2</sup>، محمود الأسد<sup>3</sup>

<sup>1</sup> كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث، حمص، سوريا.

<sup>2</sup> كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث، حمص، سوريا.

<sup>3</sup> كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث، حمص، سوريا.

\* الباحث الممثل: محمد يحيى النيفاوي، yahya.nefawy@gmail.com

نشر في: 30 حزيران 2020

**الخلاصة** – تصنع 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، في هذا البحث تم دراسة تأثير إضافة نسب مختلفة من النيكل [0.1, 0.5, 1] wt% ، وتم أيضاً دراسة تأثير المعالجات الحرارية المختلفة وتشمل معالجة التعتيق الاصطناعي T6 ومعالجة المراجعة (استعادة الخواص) RRA على البنية المجهرية والأطوار المتشكلة وخواص الشد لسبيكة الألمنيوم 7075. وقد تبين أن معالجة المراجعة 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 للسبيكة، وقد بلغت مقاومة الشد الأعظمية لسبيكة الألمنيوم 7075 والمضاف لها 0.5% نيكل (UTS=437 Mpa) عند تطبيق المعالجة الحرارية RRA

**الكلمات الرئيسية** – "سبائك ألمنيوم-زنك-مغنيزيوم-نحاس"، "التعتيق الاصطناعي T6"، "المراجعة وإعادة التعتيق RRA"، "إضافة النيكل"، "خواص الشد"، "البنية المجهرية"

### 1. المقدمة

حرارة عالية لضمان انحلال جميع العناصر في طور الألمنيوم الأساس ومن ثم التبريد المفاجئ إلى درجة حرارة الغرفة (سقاية) للوصول إلى المحلول الصلب المشبع Super Saturated Solid (SSSS) حيث تتشكل العناصر المترسبة لاحقاً أثناء المعالجة الحرارية بالتعتيق. حيث 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 MgZn2 بشكل عنقايد والتي تشكل طور ثاني η ضمن محلول الألمنيوم الأساس α [5].

من الممكن أيضاً تحسين خواص سبائك الألمنيوم بإضافة بعض العناصر السبائكية الأخرى فيضاف مثلاً البورون B والكاديوم Cd والرصاص Pb والقصدير Sn والكروم Cr والنيكل Ni والفضة Ag والقصدير Sn والتيتانيوم Ti وتؤدي كل من هذه الإضافات إلى تعديلات في خواص سبائك الألمنيوم [11].

### 2. الدراسات السابقة

إن من أهم المعالجات الحرارية المطبقة على سبائك السلسلة 7xxx هي معالجة المراجعة وإعادة التعتيق Retrogression and re-aging (RRA) التي تؤدي لخواص ميكانيكية ومقاومة تآكل أفضل من الخواص الناتجة عن معالجة التعتيق الاصطناعي T6 التقليدية، وقد بين ذلك الباحث F. Viana وزملاؤه [6] والباحث A.F. Oliveira وزملاؤه [1] حيث قاموا بدراسة تأثير المعالجات الحرارية T6 و T7 و RRA على بنية السبائك 7050 و 7150 و 7075 وصلادتها ومقاومتها للشد ومقاومتها للتآكل بالتشقق الإجهادي SCC وحصلوا على أفضل النتائج عند تطبيق المعالجة RRA.

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<sup>3</sup>، أي ما يعادل ثلث الوزن النوعي للفولاذ، وهو موصل جيد للحرارة والكهرباء إذ تبلغ موصليته ثلثي موصلية النحاس، إلا أنه ذو صلادة منخفضة لا تتعدى 40 HB ومقاومته على الشد لا تزيد عن 90 N/mm<sup>2</sup> 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، والسيلكون Si، والزنك Zn، ونحصل بإضافة هذه العناصر للألمنيوم على سلاسل سبائك الألمنيوم الأساسية وهي مرفقة وفق جمعية الألمنيوم Aluminum Association [8]، تتميز كل سلسلة من هذه السلاسل بخاصية تميزها عن باقي السلاسل حيث تتميز سبائك السلسلة 7xxx بمقاومة عالية جداً لذلك تستخدم بكثرة في صناعة أجزاء ومكونات الطائرات، وتعتبر 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 كمقاومة الشد المرتفعة مع خفة الوزن، وقابلية تشكيل ممتازة، ومقاومة تآكل مقبولة وخاصة بعد تطبيق المعالجات الحرارية عليها [14].

فعادةً 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

تم تحضير السبائك المراد اختبارها في هذا البحث وفق الخطوات التالية:

- قص قطع من سبيكة الألمنيوم 7075 باستخدام المنشار الآلي.
- وزن القطع المقصوفة من السبيكة باستخدام ميزان الكتروني بدقة 1gr.
- وزن كميات مقابلة من بودرة النيكل (دقائق كروية الشكل بقطر حوالي 11  $\mu\text{m}$  بنقاوة 99.5%) لكل قطعة من قطع السبيكة، بحيث تحقق هذه الكميات الموزنة من بودرة النيكل النسب الوزنية المطلوبة في العينات المدروسة وهي (0.1, 0.5, 1) % wt Ni.
- تم زيادة الكمية المحسوبة من بودرة النيكل بحدود 10% لاعتبارات الفقد الحاصل في كمية النيكل المضاف بنتيجة الاحتراق والتأكسد وعدم الذوبان.
- تغليف بودرة النيكل برقائق من الألمنيوم النقي للتقليل من التأكسد والاحتراق أثناء عملية الصهر الأمر الذي سيؤدي لانخفاض نسبته الوزنية عن نسبته المطلوبة.
- وضعت القطع الموزونة من سبيكة الألمنيوم 7075 مع بودرة النيكل المغلفة برقائق الألمنيوم في بوتقة غرافيتية وأجريت عملية الصهر في الفرن الكهربائي المبين في الشكل 1 عند درجة حرارة 850 °C، تم الإبقاء في هذه الحرارة لمدة 5 ساعات لضمان ذوبان وانتشار النيكل في المصهور.
- تم تحريك المصهور جيداً لضمان تجانس توزع النيكل في المصهور، وقد تم ذلك يدوياً بإخراج البوتقة من الفرن ثم تحريك المصهور باستخدام قضيب غرافيتي .



الشكل 1: الفرن الكهربائي المستخدم في الصهر وبداخله البوتقة



الشكل 2: القالب الفولاذي المستخدم للصب

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 وصلادة السبيكة 7017، وقد حصلوا على أعلى قيم لإجهاد الخضوع (YS=400 Mpa) عند تطبيق المعالجة T6 في درجة حرارة 120 °C لمدة 24 ساعة [12].

أما الباحث Cheng Cao وزملاءه فقاموا بدراسة تأثير التعتيق المسبق على قساوة السبيكة ذات التركيب  $\text{Al-5.2\% Mg-2\% Zn-0.45\%}$ ، وقد أدى التعتيق المسبق لكثافة أكثر ونعومة حبيبات الطور T Cu، حيث تحول من الشكل الشبيه بالشراخ الخشنة إلى شكل أنعم، كما أدى لاضمحلال الطور S-Al2MgCu الشبيه بالإبر مما سبب في ازدياد الصلادة من 100 فيكرز إلى 125 فيكرز [3] [4]، أما الباحث CHEN Song وزملاؤه 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 [2].

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 [19]. أما الباحث Xing Huang وزملاؤه فقد درسوا تأثير إضافة الزركونيوم 0.1% Zr والسكانديوم 0.1% Sc والبارامترات المختلفة للمعالجة الحرارية المحلولة والتعتيق الاصطناعي على خواص السبيكة ذات التركيب  $\text{Al-5.43\% Zn-1.98\% Mg}$ ، وقد حصل على أعلى قيم إجهاد الخضوع والذي بلغت قيمته YS=500 Mpa عند تطبيق المعالجة الحرارية المحلولة في الدرجة 470 °C لمدة 60 min وتعتيق اصطناعي في الدرجة 120 °C لمدة 24 h [18].

وفي هذا البحث قمنا بإضافة النيكل بنسب مختلفة % wt [0.1, 0.5, 1] إلى السبيكة 7075 ودرسنا تأثير المعالجات الحرارية T6 وRRA على البنية المجهرية وخواص الشد لسبيكة الألمنيوم 7075 المحتوية على النيكل.

### 3. منهجية البحث

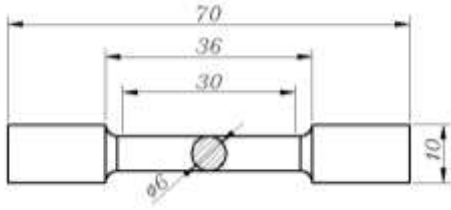
تم استلام السبيكة 7075 موضوع البحث وكانت على شكل بليت بسماكة 12 Cm، وبيين الجدول 1 التركيب الكيميائي لسبيكة Al-Zn-Mg-Cu 7075.

الجدول 1: 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
المغنزيوم Mg	2.1-2.9	2.35
المنغنيز Mn	< 0.3	0.01
الزنك Zn	5.1-6.1	5.8
الألمنيوم Al	Bal.	Bal.

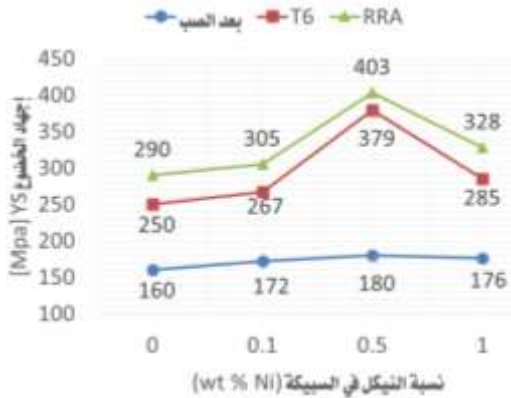


الشكل 3: جهاز اختبار الشد المستخدم

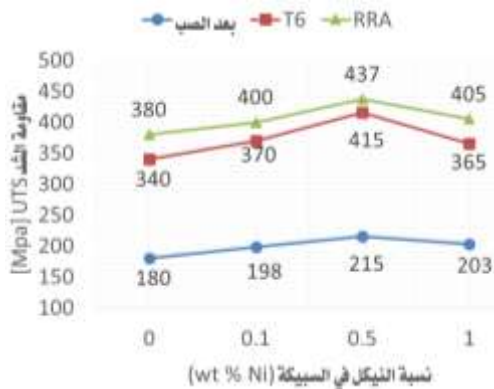


الشكل 4: أبعاد عينة الشد بـ mm

ويظهر في الشكل 5 والشكل 6 تغير خواص الشد للسبيكة 7075 بتغير نسبة النيكل فيها، حيث نجد في هذه الأشكال قيم إجهاد الخضوع ومقاومة الشد على التوالي للسبيكة 7075 المحتوية على النيكل بالنسب الوزنية % [0,0.1,0.5,1] وذلك عند تعريض هذه السبائك لنوعين مختلفين من المعالجة الحرارية هما T6 و RRA.



الشكل 5: تغير إجهاد الخضوع لسبيكة الألمنيوم 7075 بتغير نسبة النيكل وطريقة المعالجة الحرارية



الشكل 6: تغير مقاومة الشد لسبيكة الألمنيوم 7075 بتغير نسبة النيكل وطريقة المعالجة الحرارية

أخيراً 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 °C 300 لتلافي التجمد المسبق للمصهور وللتقليل من عيوب السبائك في المسبوكات الناتجة، ثم 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.

عرضت جميع المسبوكات للمعالجة الحرارية المحلووية في درجة الحرارة °C 480 لمدة 8 hour ثم تمت التقسية Quenching في الماء البارد. ثم تم تطبيق حالتين مختلفتين من المعالجات الحرارية على المسبوكات، الحالة الأولى هي المعالجة الحرارية T6 والحالة الثانية هي معالجة المراجعة وإعادة التعتيق (RRA) Retrogression and Re-Ageing [6].

حيث تم تطبيق معالجة T6 بتعتيق المسبوكات اصطناعياً في درجة الحرارة °C 120 لمدة 24 hour ثم السقاية في الماء البارد، أما المعالجة (RRA) فقد تمت بالتعتيق الاصطناعي الأول في درجة الحرارة °C 120 لمدة 24 hour ثم المراجعة Retrogression في درجة الحرارة °C 180 لمدة 30 min ثم إعادة التعتيق الاصطناعي في درجة الحرارة °C 120 لمدة 24 hour.

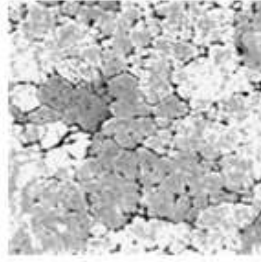
الجدول 2: التركيب الكيميائي لسبائك 7075 مع نسب من النيكل (% wt)

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
المغنسيوم 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
الألمنيوم Al	Bal.	Bal.	Bal.	Bal.

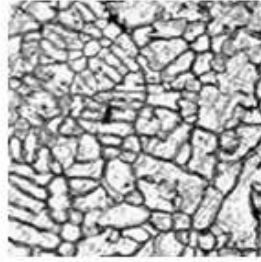
#### 4. النتائج والمناقشة

##### 4.1 دراسة خواص الشد

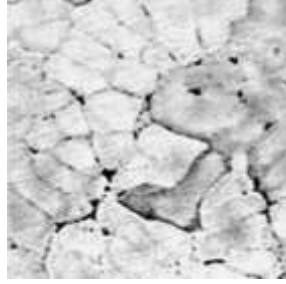
تم إجراء اختبار الشد في مختبر خواص المواد في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة البعث وفق المواصفة ASTM-B557 باستخدام جهاز اختبار الشد من نوع TINIUS OLSEN طراز H25KS المبين في الشكل 3، تم الاختبار في درجة حرارة الغرفة وبسرعة 10 mm/min وبقوة مطبقة مقدارها 500 KN، ويظهر في الشكل 4 أبعاد عينة الشد المختبرة.



بعد معالجة T6 الحرارية

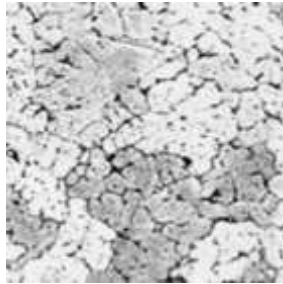


بدون معالجة حرارية-بعد الصب

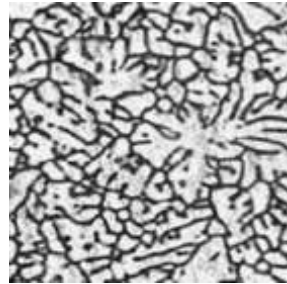


بعد معالجة المراجعة وإعادة التعتيق RRA

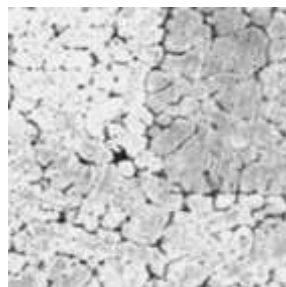
الشكل 7: الصور المجهرية بتكبير 200X للسبيكة 7075 بدون إضافة النيكل بعد تطبيق مختلف المعالجات الحرارية



بعد معالجة T6 الحرارية



بدون معالجة حرارية-بعد الصب



بعد معالجة المراجعة وإعادة التعتيق RRA

الشكل 8: الصور المجهرية بتكبير 200X للسبيكة 7075 مع إضافة النيكل بنسبة 0.1% بعد تطبيق مختلف المعالجات الحرارية

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، وإن هذا التغير الحاصل في الحجم الحبيبي إضافة للتغيرات في الأطوار المترسبة قد أدى لتحسين الخواص الميكانيكية (مقاومة الشد العظمى UTS وإجهاد الخضوع YS).

ويمكن أن نلاحظ بأن خواص الشد (مقاومة شد وإجهاد خضوع) للسبيكة 7075 من أجل مختلف حالات المعالجات الحرارية (بعد الصب، T6، RRA) قد ازدادت قيمها بزيادة نسبة النيكل، حيث تشير النتائج إلى أن السبيكة المحتوية على 0.5% نيكل يكون لها أعلى قيمة لمقاومة الشد وإجهاد الخضوع مقارنة بباقي السبائك في جميع حالات المعالجات الحرارية، وهذا يدل على أن إضافة 0.5% من النيكل هي النسبة المثالية للإضافة المطلوبة لتحسين مقاومة السبيكة.

وبزيادة نسبة النيكل فوق هذه القيمة تبدأ قيم خواص الشد بالانخفاض، يمكن تفسير هذه التغيرات في قيم خواص الشد بتركيب الأطوار المترسبة وتشكلها خلال عمليات المعالجات الحرارية (الموضحة في دراسة حيود الأشعة السينية XRD) فعند المعالجة المحلولة للسبيكة ينتج طور وحيد متجانس، وبسفاية السبيكة تكون العناصر المذابة في حالة غير مستقرة، ثم بتطبيق معالجة التعتيق (الترسيب) تخرج ذرات المكون المذاب لتشكل رواسب بشكل عنقايد متماسكة أو شبه متماسكة. وإن وجود حقل للإجهاد حول هذه الرواسب المتماسكة أو شبه المتماسكة يمنع حركة الانخلاعات ما يؤدي لزيادة مقاومة السبيكة.

كما نلاحظ من الشكلين 5 و 6 أن المعالجة الحرارية RRA أدت لنتائج أفضل مما أدت إليه المعالجة الحرارية T6، حيث نجد أن القيمة العظمى لمقاومة الشد للسبيكة المحتوية على 0.5% نيكل  $UTS=415$  Mpa وإجهاد الخضوع  $YS=379$  Mpa ذلك عند تطبيق المعالجة الحرارية T6 في حين ارتفعت هذه القيم عند تطبيق المعالجة الحرارية RRA عند نفس نسبة النيكل وبلغت  $437$  Mpa من أجل مقاومة الشد UTS و  $403$  Mpa من أجل إجهاد الخضوع YS. وهذا يعود لكون أن المعالجة الحرارية RRA عملت على تثبيت نوى وفيرة تعزز من إعادة ترسيب مناطق GP والطور  $\eta'$  في الخطوة التالية للتعتيق.

#### 4.2 دراسة البنية المجهرية

للحصول على الصور المجهرية وفق المواصفة ASTM-E3 تم استخدام المجهر الضوئي B-353 Met Optika وبمقدار تكبير 200X حيث سُحذت سطوح العينات باستخدام جهاز الشد نصف الألي بورق الشد المائي ذات الدرجات 600 ، 800 ، 1000 ، 1200 ، ثم صقلت باستخدام معجون الألماس الصناعي  $0.25 \mu m$  ، ثم تم تخريش سطوح العينات بغمسها لزمين يتراوح بين (10-20) ثانية. في محلول الإظهار Keller's Reagent وهو ذو التركيب التالي [16]:  $1 \text{ Cm}^3 \text{ HF}$ ،  $1.5 \text{ Cm}^3$  HCL،  $2.5 \text{ Cm}^3 \text{ HNO}_3$ ،  $95 \text{ Cm}^3 \text{ H}_2\text{O}$ .

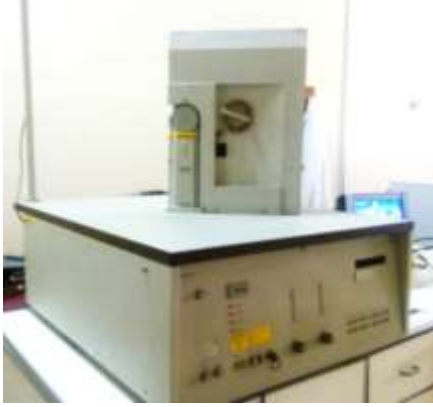
وتبين الأشكال 7، 8، 9، 10 الصور المجهرية لعينات من السبيكة 7075 غير حاوية على النيكل والحاوية على نسب 1%، 0.5%، 0.1% نيكل ومن أجل المعالجات الحرارية المختلفة بعد الصب (بدون معالجة حرارية)، معالجة T6، معالجة RRA.

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 تدريجاً وأصبحت الأطوار المتبقية صغيرة ومتفرقة عند تطبيق المعالجة T6 وأصبحت كثافة الشبكة التشعبية أقل عند تطبيق المعالجة RRA،



### 4.3 دراسة حيود الأشعة السينية XRD

تم إجراء اختبارات حيود الأشعة السينية على العينات بهدف تفسير التغير في الخواص الميكانيكية (خواص الشد) حيث تم استخدام جهاز من نوع Philips طراز PW 1830 المبين في الشكل 11.



الشكل 11: جهاز اختبار حيود الأشعة السينية XRD

يبين الشكل 12 طيف حيود 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  $\alpha$ -(Al) والأطوار الثانوية وهي: الطور T- $\eta$ -MgZn<sub>11</sub> والطور S-Al<sub>2</sub>CuMg والطور  $\eta$ -MgZn<sub>2</sub> والطور  $\eta$ '-MgZn<sub>11</sub> و  $\text{Al}_{23}\text{CuFe}_4$  [7]، وإن أحداث الترسيب في سبائك السلسلة 7xxx للألمنيوم كما يلي [13] [9]:

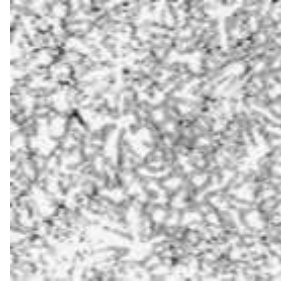
محلول صلب مفرط الإشباع ← مناطق Guinier–Preston (GP) المستقرة والمتماسكة ← الطور  $\eta$ '-MgZn<sub>11</sub> الوسيط وشبه المتماسك ← الأطوار T-AlMg<sub>4</sub>Zn<sub>11</sub> أو  $\eta$ -MgZn<sub>2</sub> المستقرة وغير المتماسكة.

إن الطور  $\eta$ '-MgZn<sub>11</sub> متبديل الاستقرار هو طور التقسية الأولية بالترسيب لهذه السبائك أي أن الترسيبات الأولية عند التعتيق هي مناطق GP والطور  $\eta$ '-MgZn<sub>11</sub>.

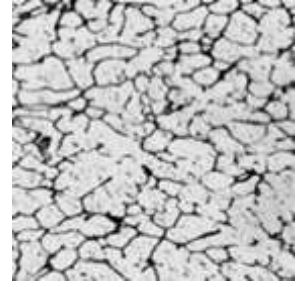
ويبين الشكل B-12 طيف حيود الأشعة السينية XRD لسبيكة الأساس 7075 المعالجة بالتعتيق الاصطناعي T6، حيث تظهر في السبيكة الأطوار الأكثر أهمية وهي  $\eta$ -MgZn<sub>2</sub> و  $\eta$ '-MgZn<sub>11</sub>، إن هذه الأطوار تتحلل خلال معالجة المجانسة الحرارية ثم تُرسب خلال معالجة التعتيق T6. في حين لم نلاحظ أي ذروة انعراج واضحة للطور  $\text{Al}_{23}\text{CuFe}_4$  عند المعالجة الحرارية T6.

ويمكن أن نلاحظ من الشكل C-12 ارتفاع قمم الأطوار MgZn<sub>2</sub> و  $\eta$ '-MgZn<sub>11</sub> عند معالجة السبيكة 7075 بالمعالجة RRA، إن الأطوار الأولية المترسبة في السبيكة وهي مناطق GP الناعمة والمتشنتة والطور  $\eta$ ' تكون قد خضعت في معالجة RRA للتعتيق في الخطوة الأولى لهذه المعالجة وأثناء الإرجاع انحلت مناطق GP في الطور  $\eta$  أو  $\eta$ '، ومع الإرجاع المطول تحولت مناطق GP غير المنحلة إلى الطور  $\eta$ ' والذي ينحل في جولات الإرجاع الأخرى [10] [17]، وبالتالي يمكن القول أخيراً بأنه تم تثبيت نوى وفيرة تعزز من إعادة ترسيب مناطق GP والطور  $\eta$ ' في الخطوة التالية للتعتيق.

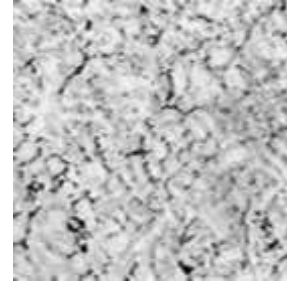
أما الشكل 13 فيظهر فيه طيف حيود الأشعة السينية XRD لسبيكة الألمنيوم 7075 والمضاف لها 0.5% نيكل، بعد مختلف المعالجات الحرارية: (A) بعد الصب و (B) بعد المعالجة T6 و (C) بعد معالجة RRA ويمكن ملاحظة أن طيف انعراج الأشعة السينية يتألف بشكل أساسي من  $\alpha$ -(Al) والأطوار الثانوية والمركبات المعدنية Intermetallic التالية:



بعد معالجة T6 الحرارية



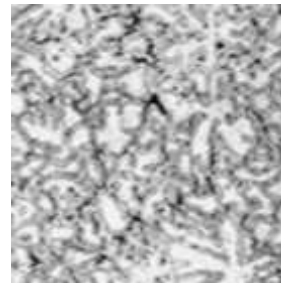
بدون معالجة حرارية بعد الصب



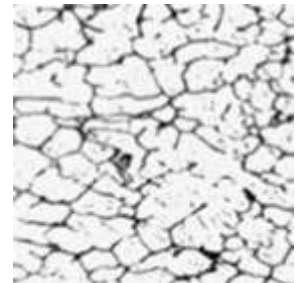
بعد معالجة المراجعة وإعادة التعتيق RRA

الشكل 9: الصور المجهرية بتكبير 200X للسبيكة 7075 مع إضافة النيكل بنسبة 0.5% بعد تطبيق مختلف المعالجات الحرارية

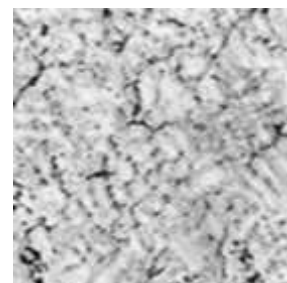
كما يمكن ملاحظة أن إضافة النيكل للسبيكة 7075 أدت بشكل عام لإنقاص الحجم الحبيبي، وأن أصغر حجم حبيبي حصلنا عليه عندما كانت نسبة النيكل في السبيكة 0.5% وهذا ما يفسر - بالإضافة لما ذكر سابقاً فيما يتعلق بالأطوار المترسبة وتركيبها - أن أعلى قيم خواص الشد كانت من أجل السبائك المحتوية على 0.5% نيكل والمعرضة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



بعد معالجة T6 الحرارية



بدون معالجة حرارية بعد الصب

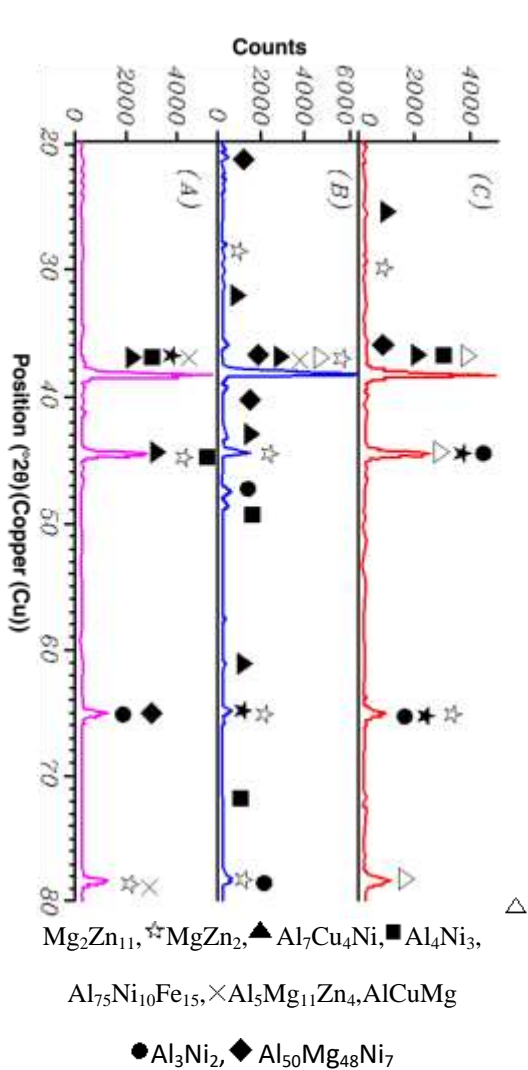


بعد معالجة RRA الحرارية

الشكل 10: الصور المجهرية بتكبير 200X للسبيكة 7075 مع إضافة النيكل بنسبة 1% بعد تطبيق مختلف المعالجات الحرارية

يظهر في الشكل 13-B طيف حيود الأشعة السينية للسبيكة 7075 المضاف لها 0.5% نيكل بعد معالجتها بالعتيق الاصطناعي T6 وتظهر فيه الأطوار الموجودة بالفعل من مرحلة سقاية العينة، وقد ظهرت لهذه الأطوار المتشعبة قمم عالية في طيف انعراج الأشعة السينية XRD بسبب ذوبان العناصر السبائكية والنيكل في السبيكة بفعل معالجات المجانسة الحرارية.

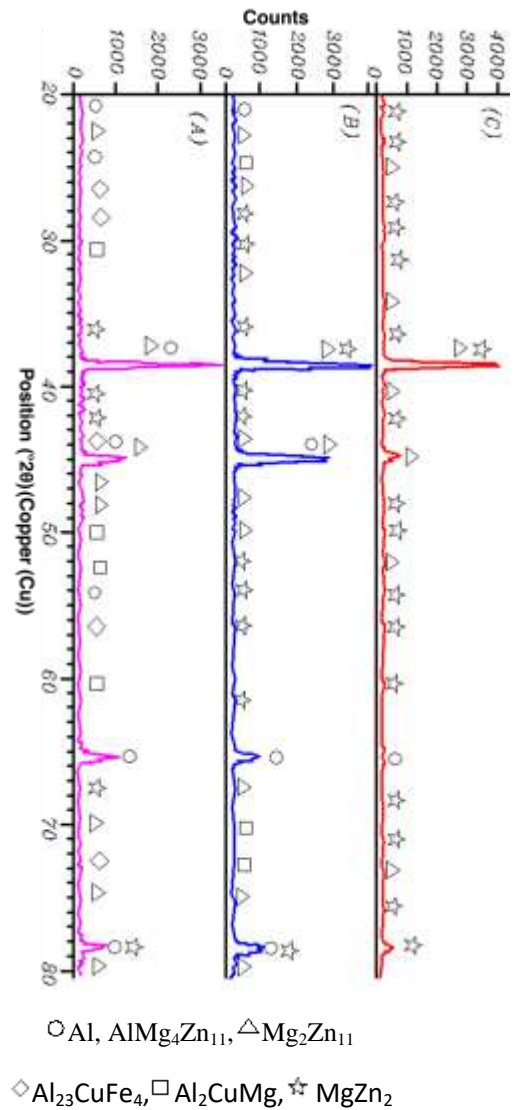
كما يمكن أن نلاحظ من الشكل 13-C ارتفاع قمم الأطوار  $Al_4Ni_3$  ،  $Al_75Ni_{10}Fe_{15}$  ،  $Al_3Ni_2$  ،  $Al_5Mg_{11}Zn_4$  و  $\eta$ - $MgZn_2$  عند معالجة السبيكة 7075 المضاف لها 0.5% نيكل بالمعالجة RRA.



الشكل 13: طيف حيود الأشعة السينية للسبيكة 7075 مع إضافة 0.5% نيكل، (A) بعد الصب، (B) بعد معالجة T6، (C) بعد معالجة RRA

T- $Al_5Mg_{11}Zn_4$ , S- $Al_2CuMg$ ,  $Al_7Cu_4Ni$ ,  $Al_{50}Mg_{48}Ni_7$ ,  $Mg_2Zn$ ,  $Al_4Ni_3$ ,  $Al_{75}Ni_{10}Fe_{15}$ ,  $Al_3Ni_2$

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  $Al-Fe-Ni$  و  $Al-Cu-Ni$  و  $Al-Ni$  [15] يظهر أنه من الممكن أن يتحد النيكل مع الألمنيوم أو النحاس أو الحديد لتشكيل مركبات معدنية، وكون أن هذه المركبات الغنية بالنيكل لم تظهر في تحليل العينة من السبيكة 7075 الأساس بدون إضافة النيكل فيمكن القول بأن لهذه المركبات الغنية بالنيكل الدور الأساسي لارتفاع قيم خواص الشد للسبيكة 7075.



الشكل 12: طيف حيود الأشعة السينية للسبيكة 7075 الأساس: (A) بعد الصب، (B) بعد معالجة T6، (C) بعد معالجة RRA

- [6] F. Viana, A. M. P. Pinto, H. M.C. Santos and A. B. Lopes, "Retrosession and re-ageing of 7075 aluminium alloy microstructural characterization," *Journal of Materials Processing Technology*, no. 92±93, p. 54±59, 1999.
- [7] FAN Xi-gang, JIANG Da-ming, MENG Qing-chang, ZHANG Bao-you and WANG Tao, "Evolution of eutectic structures in Al-Zn-Mg-Cu alloys during heat treatment," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, no. 16, pp. 577-581, 2006 .
- [8] George E. Tot ten and D. Scott MacKenzie, *Handbook of Aluminum Volume 7 Physical Metallurgy and Processes*, MARCEL DEKKER, INC, 2003.
- [9] Guo-sheng PENG, Kang-hua CHEN, Song-yi CHEN and Hua-chan FANG, "Influence of dual retrosession and re-aging temper on microstructure, strength and exfoliation corrosion behavior of Al-Zn-Mg-Cu alloy," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, no. 22, pp. 803-809, 2012
- [10] Ian Polmear, *Light Alloys - From Traditional Alloys to Nanocrystals*, 4 ed., Butterworth-Heinemann, 2006.
- [11] J. Gilbert Kaufman and Elwin L. Rooy, *Aluminum Alloy Castings Properties, Processes, and Applications*, ASM International, 2004.
- [12] P. K. Rout, M. M. Ghosh and K. S. Ghosh, "Microstructural, mechanical and electrochemical behavior of a 7017 Al-Zn-Mg alloy of different tempers," *Materials Characterization*, 2015.
- [13] Robert J. Flynn and J.S. Robinson, "The application of advances in quench factor analysis property prediction to the heat treatment of 7010 aluminium alloy," *Journal of Materials Processing Technolog*, no. 153–154, pp. 674-680, 2004 .
- [14] Tapany Udomphol, *Aluminum and its Alloy*, Suranaree University of Technology, 2007.
- [15] V. S. Zolotarevsky and N. A. Belov, *Casting Aluminum Alloys*, USA: Alcoa Technical Center, Alcoa Center, 2007.

## 5. الاستنتاجات

1. حسنت المعالجة الحرارية T6 خواص الشد لسبيكة الألمنيوم 7075، حيث ازادت قيم كل من مقاومة الشد وإجهاد الخضوع بمقدار 88.9% و56.25% على التوالي.
2. وقد ازدادت هذه القيم بشكل أكبر عند تطبيق المعالجة الحرارية RRA، حيث ازادت قيم كل من مقاومة الشد وإجهاد الخضوع بمقدار 111% و81.25% على التوالي.
3. أدت المعالجات الحرارية 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.
4. تحسنت خواص الشد للسبيكة 7075 عند إضافة النيكل بشكل عام، وكانت أعلى قيم مقاومة الشد وإجهاد الخضوع عند نسبة وزنية للنيكل 0.5% مع تطبيق المعالجة RRA في حين تراجع قيم هذه الخواص عند زيادة نسبة النيكل فوق القيمة المذكورة.
5. أدت إضافة النيكل للسبيكة 7075 بشكل عام لتحسين البنية المجهرية للسبيكة وقد حصلنا على أصغر حجم حبيبي عندما كانت نسبة النيكل في السبيكة 0.5%.

## المصادر

- [1] A.F. Oliveira, Jr., M.C. de Barros, K.R. Cardoso and D.N. Travessa, "Materials Science and Engineering A," The effect of RRA on the strength and SCC resistance on AA7050 and AA7150 aluminium alloys, no. 379, p. 321–326, 2004.
- [2] CHEN Song-yi, CHEN Kang-hua, DONG Peng-xuan, YE Sheng-ping, HUANG Lan-ping and YANG Dai-jun, "Effect of a novel three-step aging on strength, stress corrosion cracking and microstructure of AA7085," *J. Cent. South Univ.*, no. 23, p. 1858–1862, 2016.
- [3] Cheng Cao, Di Zhang, Linzhong Zhuang and Jishan Zhang, "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, 2017.
- [4] Cheng Cao, Di Zhang, Xu Wang, Qibiao Ma, Linzhong, Zhuang and Jishan Zhang, "Effects of Cu addition on the precipitation hardening response and intergranular corrosion of Al-5.2Mg-2.0Zn (wt.%) alloy," *Materials Characterization*, no. 122, p. 177–182, 2016.
- [5] Derek Hull, D. J. Bacon, *introduction to Dislocations*, 5 ed., Elsevier, 2011.

- "Microstructure, mechanical properties and stress corrosion cracking of Al-Zn-Mg-Zr alloy sheet with trace amount of Sc," Journal of Alloys and Compounds, 2015 .
- [19] Zhanying Guo, Gang Zhao and X. Grant Chen, "Effects of two-step homogenization on precipitation behavior of Al<sub>3</sub>Zr dispersoids and recrystallization resistance in 7150 aluminum alloy," Materials Characterization, no. 102, p. 122–130, 2015.
- [16] William F. Gale, Terry C. Totemeier, Smithells Metals Reference Book, 8 ed., Butterworth-Heinemann, 2004 .
- [17] Wuhua Yuan, Jian Zhang, Chenchen Zhang and Zhenhua Chen, "Processing of ultra-high strength SiCp/Al–Zn–Mg–Cu composites," Journal of Materials Processing Technology, no. 209, pp. 3251-3255, 2009 .
- [18] Xing Huang, Qinglin Pan, Bo Li, Zhiming Liu, Zhiqi Huang and Zhimin Yin,

## The Effect of Heat Treatments and Nickel Additive on The Microstructure and Tensile Properties of 7075 Aluminum Alloy

Mohamad Yehea Al nefawy<sup>1,\*</sup>, Fouad El dahiye<sup>2</sup>, and Mahmoud Al Assaad<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mechanical and Electrical Engineering Collage, Al-Baath University, Homs, Syria, yahya.nefawy@gmail.com

<sup>2</sup> Mechanical and Electrical Engineering Collage, Al-Baath University, Homs, Ssyria, fouadEldahiye@gmail.com

<sup>3</sup> Mechanical and Electrical Engineering Collage, Al-Baath University, Homs, Syria, mahmoudAlAssaad@gmail.com

\*Corresponding author: Mohamad Yehea Al nefawy, yahya.nefawy@gmail.com

Published online: 30 June 2020

**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. The effect of adding Nickel and heat treatments on the microstructure, formed phases and tensile properties of the 7075 aluminum alloy were studied in this paper. Different percentages of nickel [0.1, 0.5, 1] wt% was added to 7075 Aluminum alloy, and various heat treatments (artificial aging T6 and Retrogression and re-aging RRA) was applied on the 7075 alloys that containing nickel. The results obtained by applying of RRA treatment were better than the results of T6 treatment, the tensile properties increased and the microstructure became softer by adding nickel to the studied alloys. The maximum tensile strength of 7075 aluminum alloy was (UTS = 437 Mpa) when RRA heat treatment was applied and 0.5% nickel was added.

**Keywords—** Al-Zn-Mg-Cu Alloys, Retrogression and re-aging RRA, Artificial Aging T6, Nickel additive, Tensile Properties, Microstructure.