



تأثير متغيرات معالجة RRA الحرارية على الخواص الميكانيكية

لسبيكة الألمنيوم عالية المقاومة 7075

Effect of RRA Heat Treatment Parameters on Mechanical Properties Of 7075 High Strength Aluminum Alloy

محمد النيفاوي^{*1}، فؤاد ضحية²

Muhammed Al-Nifawi^{*1}, Fouad Dhahya²

^{1,2}قسم هندسة التصميم والانتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث، حمص، سوريا

^{1,2}Department of Design and Production Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Al-Baath University, Homs, Syria

تاريخ النشر: 2020/12/01

تاريخ القبول: 2020/10/15

تاريخ الإستلام: 2020/04/20

المستخلص: تحسن معالجة الإرجاع وإعادة التعتيق الحرارية كل من مقاومة الشد ومقاومة التآكل لسبائك الألمنيوم، ولدراسة تأثير درجة حرارة وزمن عملية الإرجاع على مقاومة الشد ومتانة الصدم وقساوة سبيكة الألمنيوم 7075 قمنا في هذا البحث بتطبيق معالجات الإرجاع في درجات حرارة مختلفة هي 150 °C, 180 °C, 240 °C, 370 °C لفترات زمنية مختلفة هي 15 min, 30 min, 90 min، وقد وصلت سبيكة الألمنيوم 7075 لأعلى مقاومة على الشد وأعلى قساوة لها والتي بلغت على التوالي 586 HB, 165 Mpa عند الإرجاع في الدرجة 180 °C لمدة 30 min، في حين كانت أعلى متانة صدم للسبيكة والتي بلغت 32.7 J/cm² عند الإرجاع في الدرجة 370 °C لمدة 30 min.

الكلمات المفتاحية: ألمنيوم-زنك-مغنسيوم-نحاس، التعتيق الاصطناعي، الإرجاع وإعادة التعتيق، مقاومة الشد، القساوة، متانة الصدم.

Abstract: Retrogression and Re-Aging Heat Treatment improves tensile and wear resistance of aluminum alloys, to study the effect of Retrogression temperature and Retrogression time on the tensile strength, Toughness Impact and Hardness of 7075 aluminum alloy, we have applied in this research Retrogression treatments at different temperatures are 150°C, 180°C, 240°C and 370°C for 15 min, 30 min and 90 min. When the retrogression temperature was 180°C for 30 min, the alloy has reached its highest tensile strength and hardness it was respectively 586 Mpa and 165 HB, While the alloy has reached its highest impact toughness it was 32.7 J/cm², When the retrogression temperature was 370°C for 30 min.

Keywords: Al-Zn-Mg-Cu Alloys, Retrogression and re-aging RRA, Artificial Aging T6, Tensile Strength, Hardness, Toughness Impact.

المقدمة:

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/cm³]، أي ما يعادل ثلث الوزن النوعي للفلوذا، وهو موصل جيد للحرارة والكهرباء إذ تبلغ موصليته ثلثي موصلية النحاس، إلا أنه معدن قساوته منخفضة لا

*يميل الباحث الرئيسي: yahya.nefawy@gmail.com

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 سبائك بإضافة عناصر سبائكية للألمنيوم، وإن العناصر السبائكية الأساسية التي تضاف للألمنيوم هي: النحاس Cu، والمغنيزيوم Mg، والمنغنيز Mn، والسيليكون Si، والزنك Zn، ونحصل بإضافة هذه العناصر للألمنيوم على سبائك الألمنيوم الأساسية والتي ترقم حسب جمعية الألمنيوم Aluminum Association كما يلي (George E. Totten & D. Scott MacKenzie, 2003):

xxx1	الألمنيوم النقي (99.0% أو أكثر نقاوة)
xxx2	سبائك الألمنيوم - نحاس
xxx3	سبائك الألمنيوم - منغنيز
xxx4	سبائك الألمنيوم - سيليكون
xxx5	سبائك الألمنيوم - مغنيزيوم
xxx6	سبائك الألمنيوم - مغنيزيوم - سيليكون
xxx7	سبائك الألمنيوم - زنك
xxx8	سبائك الألمنيوم - عناصر أخرى

تتميز كل سلسلة من هذه السلاسل بخاصية تميزها عن باقي السلاسل كالموصلية الكهربائية الممتازة التي تتمتع بها سبائك السلسلة الأولى xxx1 لذلك تستخدم في التطبيقات الكهربائية، والمقاومة العالية جداً كسبائك السلسلتين xxx2 و xxx7 وتستخدم بكثرة في صناعة أجزاء ومكونات الطائرات، أما السلسلة xxx3 فتتمتع بقابلية تشكيل وتوصيل حراري فتستخدم في تصنيع علب المشروبات الغازية والمبادلات الحرارية، وتتمتع سبائك السلسلة xxx5 بمقاومة ممتازة للتآكل لذلك تستخدم في صناعة السفن، أما سبائك السلسلة xxx6 فتتمتع بقابلية ممتازة للتشكيل بالثقق لذلك تصنع منها المنتجات المتعددة ذات المقاطع المختلفة بالثقق، أما سبائك الألمنيوم من السلسلة xxx7 وهي من السبائك عالية المقاومة فتستخدم في الصناعات الفضائية والجوية على وجه الخصوص بسبب كثافتها المنخفضة ومقاومة الشد العالية لها أي أنها ذات متانة نوعية عالية (TapanyUdomphol, 2007)، تعتبر سبائك السلسلة xxx7 من سبائك الألمنيوم القابلة للمعالجة الحرارية بالتعتيق الاصطناعي وتأتي المقاومة العالية لسبيكة الألمنيوم 7075 بفعل مناطق - Guinier - Preston (GP) ورواسب الطور شبه المستقر $\eta'(MgZn_2)$ الغني بالمغنيزيوم والزنك (George E. Totten & D. Scott MacKenzie, 2003).

تغير خواص سبيكة الألمنيوم 7075 وبنيتها المجهرية والأطوار المتشكلة باختلاف نوع المعالجة الحرارية المطبقة وبارامترات هذه المعالجة، حيث درس الباحث Ghosh تأثير زمن معالجة المجانسة على البنية المجهرية والأطوار المتشكلة وخواص سبيكة الألمنيوم 7075 (A. Ghosh & M. Ghosh, 2018). وقد درس الباحث F. Viana وزملاؤه تأثير المعالجات الحرارية المختلفة كالتعتيق الطبيعي، والتعتيق الاصطناعي T6، والإفراط في التعتيق T7، والإرجاع بعد التعتيق، والإرجاع وإعادة التعتيق RRA على البنية المجهرية والأطوار المترسية لسبيكة الألمنيوم 7075 (F. Viana, A.M.P. Pinto, H.M.C. Santos, & A.B. Lopes, 1999). بينما درس الباحث Mavropoulos تأثير هذه المعالجات الحرارية المختلفة على سلوك تآكل سبيكة الألمنيوم 7075 (A. Mavropoulos & S. Skolianos, 2018). كما درس الباحث Özer تأثير متغيرات معالجة الإرجاع وإعادة التعتيق RRA على البنية المجهرية والأطوار المترسية وعلى مختلف أنواع التآكل لسبيكة الألمنيوم 7075 (Gökhan Özer & Ahmet Karaaslan, 2018).

إن مقاومة سبيكة الألمنيوم 7075 على الشد تبلغ قيمتها الأعظمية عند تطبيق المعالجة الحرارية T6 حيث تعرض السبيكة لمعالجة حرارية محلولية في درجة حرارة بين $460^{\circ}C$ و $490^{\circ}C$ لفترة زمنية بين 35 min و 60 min ثم تسقى سريعاً في الماء، ثم يطبق التعتيق الاصطناعي في درجة الحرارة $120^{\circ}C$ لمدة 24 ساعة (Z. H. Ji & Z. Z. Jing, 2015)، لكن في هذه الحالة وبعد تطبيق معالجة T6 ستكون السبيكة عرضة للتآكل المحلي كتآكل النقش والتآكل بين الحبيبات وتآكل التشقق الإجهادي. لذلك عادة ما تطبق المعالجة T73 لتحسين مقاومة التآكل للسبيكة ولكن ذلك يتم على حساب

مقاومة سبيكة الألمنيوم على الشد والتي تنخفض بحدود 10 إلى 15 % (LI Guo-feng, ZHANG Xin-ming, LI Peng- hui, & YOU Jiang-hai, 2010) (Guosheng Peng, Kanghua Chen, Songyi Chen, & Huachan, 2011).

في حين أن معالجة الإرجاع وإعادة التعتيق RRA التي طورها Cina في عام 1974 تؤمن زيادة كل من مقاومة السبيكة على الشد ومقاومتها للتآكل وفي هذه المعالجة تعرض سبيكة الألمنيوم للتعتيق الاصطناعي ثم لإرجاع ثم لإعادة التعتيق، وبفعل هذه المعالجة سيكون هناك تغير في حجم وتوزع الحبيبات وأشكال الرواسب وتركيبها الكيميائي الموجودة في الحبيبات وعلى حدودها (Patent No. US Patent 3 856 584, 1974).

وسندرس في هذا البحث تأثير تغير درجة حرارة وزمن عملية الإرجاع في معالجة RRA على مقاومة الشد ومتانة الصدم وقساوة سبيكة الألمنيوم عالية المقاومة 7075.

منهجية البحث:

كانت سبيكة الألمنيوم 7075 المستخدمة في البحث على شكل بيليت بسماكة 4.5 Cm، وبين الجدول (1) التركيب الكيميائي القياسي والتجريبي (النتائج بعد تحليل السبيكة 7075 بجهاز التحليل الطيفي السبيكترومتر).

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
المغنيزوم 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.

استخدم فرن كهربائي المبين في الشكل (1) لتطبيق المعالجات الحرارية على العينات، حيث تم تطبيق المعالجة الحرارية المحلولية في درجة الحرارة 450 C° لمدة ساعتين، ثم تمت سقاية العينات بماء في درجة حرارة الغرفة، ثم تم تطبيق معالجة التعتيق الاصطناعي T6 في درجة الحرارة 120 C° لمدة 24 ساعة، ثم تم تطبيق معالجات الإرجاع في درجات حرارة مختلفة هي 150 C°، 180 C°، 240 C°، 370 C°، لفترات زمنية مختلفة هي 15 min، 30 min، وأخيراً تمت إعادة التعتيق في درجة الحرارة 120 C° لمدة 24 ساعة، وبين الجدول (2) المعالجات الحرارية المطبقة وبارامتراتهما.



الشكل (1) الفرن الكهربائي المستخدم للمعالجات الحرارية

الجدول (2) بارامترات المعالجات الحرارية المطبقة

المعالجة الحرارية	درجة الحرارة	الزمن
1- معالجة حرارية محلولية	450 °C	2 hours
2- تعتيق اصطناعي T6	120 °C	24 hours
	180 °C	15 min
3- إرجاع	240 °C	30 min
	370 °C	90 min
4- إعادة التعتيق الاصطناعي	120 °C	24 hours

النتائج والمناقشة:

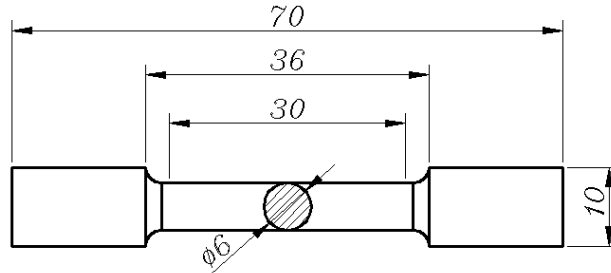
تم إجراء اختبارات على العينات المعالجة حرارياً بمختلف الحالات لدراسة تأثير درجات حرارة وأزمنة معالجة الإرجاع على خواص سبيكة الألمنيوم 7075.

اختبار الشد:

تم إجراء اختبار الشد وفق المواصفة ASTM-B557 عن طريق جهاز الاختبار TINIUS OLSEN H25KS المبين في الشكل (2)، تم الاختبار في درجة حرارة الغرفة وبسرعة 25 mm/min وبقوة مطبقة مقدارها 500 KN ويظهر في الشكل (3) أبعاد عينة الشد المختبرة بـ mm.



الشكل (2) جهاز اختبار الشد

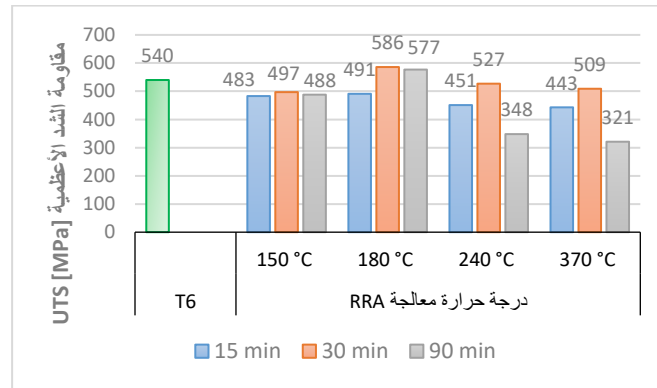


الشكل (3) أبعاد عينة الشد بـ mm

تم إجراء الاختبار على ثلاث عينات لكل حالة من حالات المعالجات الحرارية المطبقة ثم أخذ المتوسط الحسابي لتنتج قيمة مقاومة الشد مقدرة بوحدة Mpa، ويظهر في الشكل (4) تغيرات مقاومة الشد لسبيكة الألمنيوم 7075 بتغير درجة حرارة وزمن معالجة الإرجاع ومقارنتها مع مقاومة السبيكة 7075 عند تطبيق معالجة T6. يمكن أن نلاحظ بأن زيادة زمن معالجة الإرجاع من 15 min إلى 30 min قد أدى لزيادة مقاومة الشد للسبيكة، حيث ومن أجل مختلف درجات حرارة الإرجاع كانت قيم مقاومة الشد للسبيكة عند الإرجاع لمدة 30 min أعلى منها عند الإرجاع لمدة 15 min أي أن زيادة زمن الإرجاع قد أدى لزيادة مقاومة الشد لسبيكة الألمنيوم 7075، إلا أن زيادة زمن الإرجاع حتى 90 min قد أدى لانخفاض مقاومة الشد للسبيكة، وقد انخفضت مقاومة الشد نتيجة انحلال مناطق GP بسبب زيادة زمن الإرجاع.

كما يمكن أن نلاحظ بأن مقاومة الشد للسبيكة قد تحسنت عند زيادة درجة حرارة الإرجاع من 150°C إلى 180°C، إلا أن زيادة درجة حرارة معالجة الإرجاع إلى درجات أعلى من 180°C قد أدى لانخفاض مقاومة الشد للسبيكة.

وقد كانت أعلى قيم مقاومة الشد لسبيكة الألمنيوم 7075 عند الإرجاع في درجة حرارة 180°C لمدة 30 min وبلغت 586 Mpa وهي أعلى من مقاومة السبيكة عند تطبيق المعالجة T6، وكان مقدار التحسن في مقاومة الشد كنسبة مئوية 8.5%، بينما كانت أقل قيم مقاومة الشد عند درجة حرارة إرجاع 370°C لمدة 90 min وبلغت 321 Mpa.



الشكل (4) تغير مقاومة الشد لسبيكة 7075 بتغير درجة حرارة وزمن معالجة الإرجاع

دراسة متانة الصدم:

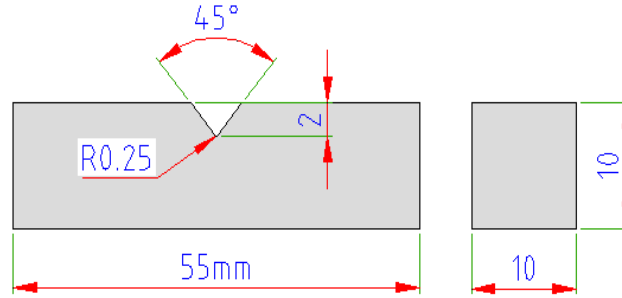
تم إجراء اختبار صدم تشاربي وفق المواصفة ASTM-E23 باستخدام جهاز اختبار BROOKS بريطاني الصنع ويبين الشكل 5 جهاز الاختبار، تم تحضير عينات الصدم حسب اختبار تشاربي بطول 55 mm ومقطع عرضي مربع 10×10 mm وتم تشغيل ثلم في منتصف العينة بزاوية 45° وعمق 2 mm باستخدام آلة القص بالسلك. ويبين الشكل (6) أبعاد عينة صدم تشاربي بـ mm.



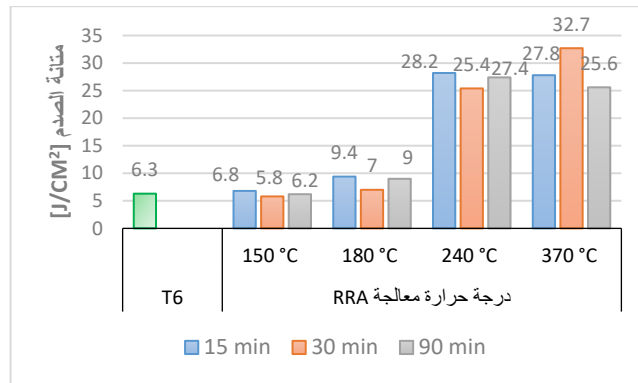
الشكل (5) جهاز اختبار الصدم

تم إجراء الاختبار على ثلاث عينات لكل حالة من حالات المعالجات الحرارية المطبقة ثم أخذ المتوسط الحسابي لنتج قيمة متانة الصدم مقدرة بوحدة J/cm^2 وبين الشكل 7 تغيرات متانة الصدم لسبيكة الألمنيوم 7075 بتغير درجة حرارة وزمن معالجة الإرجاع ومقارنتها مع متانة السبيكة 7075 عند تطبيق معالجة T6.

ونلاحظ بأن زيادة درجة حرارة معالجة الإرجاع حتى $240^\circ C$ أدى لزيادة متانة الصدم، وعندما ازدادت درجة الحرارة إلى $370^\circ C$ انخفضت متانة الصدم بمقادير صغيرة. ونلاحظ بأن أصغر زمن الإرجاع 15 min أدى لأكبر متانة صدم وذلك من أجل مختلف درجات حرارة الإرجاع باستثناء درجة الحرارة $370^\circ C$ حيث نجد أن أعلى قيم متانة الصدم لسبيكة الألمنيوم 7075 كانت عند الإرجاع في درجة حرارة $370^\circ C$ لمدة 30 min وبلغت $32.7 J/cm^2$ وهي أعلى من متانة السبيكة عند تطبيق المعالجة T6، وكان مقدار التحسن في متانة الصدم كنسبة مئوية 419%.



الشكل (6) أبعاد عينة صدم تشاربي بالـ mm



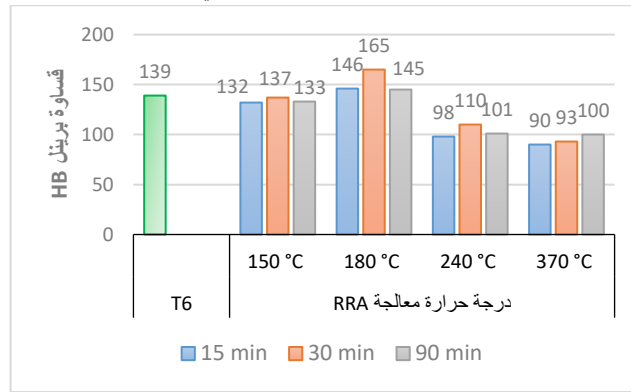
الشكل (7) تغير متانة الصدم لسبيكة 7075 بتغير درجة حرارة وزمن معالجة الإرجاع

دراسة القساوة:

تم إجراء اختبار القساوة وفق المواصفة ASTM-E10 بواسطة جهاز قياس قساوة برينل من نوع ERNSL طراز NR3 DR المبين في الشكل (8)، برأس قياس كروي بقطر 2.5 mm والحمل المطبق 613 N، وقد أخذت أكثر من قراءة لكل عينة من مناطق مختلفة لتحديد القيمة المتوسطة لقساوتها.



الشكل (8) جهاز اختبار قساوة برينل



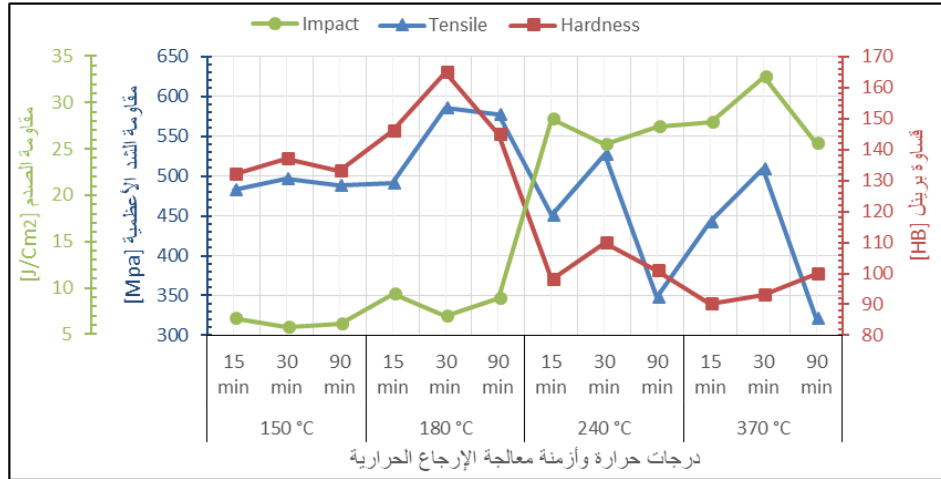
الشكل (9) تغير قساوة برينل للسبيكة 7075 بتغير درجة حرارة وزمن معالجة الإرجاع

يظهر في الشكل (9) تغيرات قساوة برينل لسبيكة الألمنيوم 7075 بتغير درجة حرارة وزمن معالجة الإرجاع ومقارنتها مع قساوة السبيكة 7075 عند تطبيق معالجة T6. يمكن أن نلاحظ بأن زيادة زمن معالجة الإرجاع من 15 min إلى 30 min قد أدى لزيادة قساوة برينل للسبيكة، حيث ومن أجل مختلف درجات حرارة الإرجاع كانت قيم مقاومة الشد للسبيكة عند الإرجاع لمدة 30 min أعلى منها عند الإرجاع لمدة 15 min أي أن زيادة زمن الإرجاع قد أدى لزيادة قساوة برينل لسبيكة الألمنيوم 7075، إلا أن زيادة زمن الإرجاع حتى 90 min قد أدى لانخفاض قساوة السبيكة.

كما يمكن أن نلاحظ بأن قساوة برينل للسبيكة قد تحسنت عند زيادة درجة حرارة الإرجاع من 150 °C إلى 180 °C، إلا أن زيادة درجة حرارة معالجة الإرجاع إلى درجات أعلى من 180 °C قد أدى لانخفاض قساوة السبيكة.

وقد وصلت قساوة برينل للسبيكة إلى أعلى قيمة لها عند درجة حرارة إرجاع 180 °C لمدة 30 min حيث بلغت القساوة حينها HB 165 أي ما يعادل HV 175 وهي أعلى من قساوة السبيكة عند تطبيق معالجة T6، وكان مقدار التحسن في قساوة برينل كنسبة مئوية 18.7%. في حين حصل الباحث Guosheng Peng على قساوة HV 130 و HV 165 و HV 166 عند تطبيق معالجة الإرجاع رباعية وثلاثية وثنائية وأحادية المراحل على الترتيب لسبيكة الألمنيوم B507 (Guosheng Peng, Kanghua Chen, Songyi Chen, & Huachan, 2011).

أما الباحث LI Guo-feng فقد حصل على قساوة HV 189 لسبيكة الألمنيوم 7050 عند إرجاعها في درجة الحرارة 190 °C لمدة 30 min وباستخدام معدل تسخين عند الإرجاع 57 °C/min (LI Guo-feng, ZHANG Xin-ming, LI Peng-hui, & YOU Jiang-hai, 2010).



الشكل (10) تغيرات مقاومة الشد ومتانة الصدم وقساوة برينل للسبيكة 7075 بتغيير درجة حرارة وزمن معالجة الإرجاع

يبين الشكل (10) تغيرات مقاومة الشد ومتانة الصدم وقساوة برينل لسبيكة الألمنيوم 7075 بتغيير درجة حرارة وزمن معالجة الإرجاع، يمكن أن نلاحظ

أن شروط الحصول على مقاومة شد أعلى وقساوة أعلى يتعارض مع شروط الحصول على متانة صدم أعلى، حيث أن درجة حرارة التي تؤدي للحصول على أعلى مقاومة شد وقساوة هي 180 °C بينما نحصل على متانة الصدم الأعلى عند درجة حرارة 370 °C. في حين أن متانة الصدم عند درجة حرارة 180 °C كانت منخفضة.

يتبين من ذلك أنه في حال أردنا الحصول على مقاومة شد أعلى وقساوة أعلى لسبيكة نقوم بمعالجة الإرجاع الحرارية في درجة الحرارة 180 °C وهذا ما سيؤدي لمتانة صدم منخفضة.

وبالتالي لن يكون من الممكن الحصول على قيمة أعلى لمقاومة الشد والقساوة ومتانة الصدم معاً للسبيكة على اعتبار أن الشروط متعارضة، لكن من الممكن أن نحصل على قيم متوسطة لهذه الخواص معاً بتطبيق ما يمكن اعتباره أفضل درجة حرارة وأفضل زمن لمعالجة الإرجاع، حيث نجد من الشكل (10) بأن هذه الخواص الميكانيكية للسبيكة تأخذ قيم متوسطة عند درجة حرارة إرجاع 240 °C لمدة 30 min، حيث بلغت مقاومة الشد عندها 527 Mpa وقساوة برينل 110 HB ومتانة الصدم 25.4 J/cm2.

بنتيجة معالجة الإرجاع وإعادة التعتيق سيكون هناك تغيرات في البنية المجهرية (Gökhan Özer & Ahmet Karaaslan, 2018)، وهي انحلال جزئي لمناطق Guiner-Priston (GP) والرواسب η' في الحبيبة والتي ترسبت بفعل معالجة التعتيق الاصطناعي، وتتشكل رواسب الطور η' المتجانسة والأدق في تلك المناطق المنحلة، كما أن رواسب الطور η التي تكون عند معالجة T6 ذات حالة مستقرة وذات هيكل شبكي متصل على حدود الحبيبات تصبح متقطعة غير متصلة وخشنة عند تطبيق معالجة RRA.

أن مناطق (GP) التي تكون متماسكة بشكل كامل مع السبيكة الأساس تعطى مقاومة الشد والقساوة المرتفعة للسبيكة، وإن هذه المناطق المتشكلة في بنية السبيكة 7075 بعد التعتيق الاصطناعي ستذوب بفعل تأثير معالجة RRA، لذلك وبانحلال هذه المناطق بسبب زيادة درجة حرارة أو مدة معالجة RRA ستنخفض القساوة ومقاومة الشد وتزداد متانة الصدم.

الاستنتاجات:

- تغيرت مقاومة الشد لسبيكة الألمنيوم 7075 بتغير درجة حرارة وزمن معالجة الإرجاع حيث انخفضت مقاومة الشد بزيادة زمن معالجة الإرجاع، كما أن زيادة درجة حرارة معالجة الإرجاع قد أدى لانخفاض مقاومة الشد للسبيكة.
- وصلت سبيكة الألمنيوم 7075 لأعلى قيمة للمقاومة على الشد عند الإرجاع في درجة حرارة 180°C لمدة 30 min وبلغت 586 Mpa وهي أعلى من مقاومة السبيكة عند تطبيق المعالجة T6، وكان مقدار التحسن في مقاومة الشد كنسبة مئوية 8.5%.
- تغيرت متانة الصدم لسبيكة الألمنيوم 7075 بتغير درجة حرارة وزمن معالجة الإرجاع، حيث وصلت سبيكة الألمنيوم 7075 لأعلى متانة صدمية عند الإرجاع في درجة حرارة 370°C لمدة 30 min وبلغت 32.7 J/cm²، وهي أعلى من متانة الصدم للسبيكة عند تطبيق المعالجة T6، وكان مقدار التحسن في متانة الصدم كنسبة مئوية 41.9%.
- تغيرت قساوة برينل لسبيكة الألمنيوم 7075 بتغير درجة حرارة وزمن معالجة الإرجاع، حيث انخفضت قساوة برينل للسبيكة مع زيادة زمن معالجة الإرجاع وكذلك مع زيادة درجة حرارة الإرجاع.
- وصلت قساوة برينل لسبيكة الألمنيوم 7075 إلى أعلى قيمة لها عند درجة حرارة إرجاع 180°C لمدة 30 min حيث بلغت القساوة حينها HB 165 وهي أعلى من قساوة السبيكة عند تطبيق معالجة T6، وكان مقدار التحسن في قساوة برينل كنسبة مئوية 18.7%.

قائمة المصادر والمراجع

المراجع الأجنبية:

- A. Ghosh, & M. Ghosh. (2018). Microstructure and texture development of 7075 alloy during homogenization. Philosophical Magazine.
- A. Mavropoulos, & S. Skolianos. (2018). Effect Of Heat Treatments on The Corrosion Behavior of High Strength Aluminum Alloy. International Journal of Advanced Engineering and Management Research.
- Cina, B. (1974). Patent No. US Patent 3 856 584.
- F. Viana, A.M.P. Pinto, H.M.C. Santos, & A.B. Lopes. (1999). Retrogression and re-ageing of 7075 aluminum alloy: microstructural characterization. Journal of Materials Processing Technology (92), pp. 54-59.
- George E. Totten, & D. Scott MacKenzie. (2003). Handbook of Aluminum Physical Metallurgy and Processes. MARCEL DEKKER, INC.
- Gökhan Özer, & Ahmet Karaaslan. (2018). Effects of RRA heat treatment on the exfoliation corrosion (EXCO), intergranular corrosion (IGC), and electrical conductivity of AA7075 alloy. Materials and Corrosion.
- Guosheng Peng, Kanghua Chen, Songyi Chen, & Huachan. (2011). Influence of repetitious-RRA treatment on the strength and SCC resistance of Al–Zn–Mg–Cu alloy. Materials Science and Engineering A (528), p. 4014.
- LI Guo-feng, ZHANG Xin-ming, LI Peng-hui, & YOU Jiang-hai. (2010). Effects of retrogression heating rate on microstructures and mechanical properties of aluminum alloy 7050. Transactions of Nonferrous Metals Society of China (20), p. 935.
- TapanyUdomphol. (2007). Aluminum and its Alloy. Suranaree University of Technology.
- Z. H. Ji, & Z. Z. Jing. (2015). 7075-T6 aluminium alloy exfoliation corrosion sensitivity and electrochemical impedance spectroscopy under stress. Materials Research Innovations, 19, p. 230.