



تأثير معالجات التعتيق المسبق على خواص الشد والقساوة لسبائك الألمنيوم

محمود الأسعد¹، محمد يحيى النيفاوي²

¹ كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث، حمص، سوريا،

² كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث، حمص، سوريا، yahya.nefawy@gmail.com

* محمد يحيى النيفاوي، yahya.nefawy@gmail.com

نشر في: 31 كانون الأول 2019

الخلاصة – تم في هذا البحث دراسة تأثير التعتيق الاصطناعي على مقاومة الشد والقساوة لسبيكة ألومنيوم – مغنيزيوم - سيليكون 6061، حيث تم تعريض عينات من السبيكة 6061 لتعتيق اصطناعي بمرحلة واحدة في درجات حرارة مختلفة، في حين تم تعريض عينات أخرى لتعتيق اصطناعي بمرحتين (حيث يوجد مرحلة أولى كتعتيق مسبق) وبحالتين التصاعدي والتنازلي. وقد بينت النتائج أن أعلى قيم مقاومة الشد بلغت $214.7 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ والقساوة بلغت 220 [HB] للسبيكة 6061 ذلك عند المعالجة بالتعتيق لمرحلة واحدة في درجة الحرارة $190 \text{ [}^\circ\text{C]}$ لمدة 3 [hour] . كما أن قيم القساوة ومقاومة الشد للسبيكة 6061 عند تعتيقها على مرحلتين كانت أعلى بمقدار بسيط من هذه القيم عند تعتيق نفس السبيكة بمرحلة واحدة، حيث تم الوصول إلى القيم العظمى لمقاومة الشد $215 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ والقساوة 227 [HB] للسبيكة 6061 عند معالجتها بالتعتيق لمرحتين الأولى في درجة الحرارة $175 \text{ [}^\circ\text{C]}$ لمدة 2 [hour] والثانية في درجة الحرارة $205 \text{ [}^\circ\text{C]}$ لمدة 1 [hour] .

الكلمات الرئيسية – سبائك الألمنيوم – مغنيزيوم - سيليكون"، "6061"، "تعتيق اصطناعي"، "تعتيق بمرحتين"، "تعتيق مسبق"، "خواص ميكانيكية".

1. مقدمة

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 موضوع البحث فتتمتع بقابلية ممتازة للتشكيل بالبتق لذلك تصنع منها المنتجات المتعددة ذات المقاطع المختلفة بالبتق [8].

وتعرض سبائك الألمنيوم القابلة للمعالجة الحرارية لمعالجات التعتيق الاصطناعي لتحسين الخواص الميكانيكية لها وتغيير البنية الطورية أو حالة الإجهادات المتبقية، يبدأ التعتيق من المعالجة المحلولية Solution Treatment عند درجات حرارة عالية لضمان انحلال جميع العناصر في طور الألمنيوم الأساس ومن ثم التبريد المفاجئ إلى حرارة الغرفة (سقاية) للوصول إلى المحلول 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 6xxx (الألمنيوم – مغنيزيوم – سيليكون) بسبب ترسب الطور Mg_2Si بشكل عناقيد والتي تشكل طور ثاني β ضمن محمول الألمنيوم الأساس α .

ويجب الانتباه إلى أنه وفي حال تم تسخين السبيكة لزمان قصير فنكون قد دخلنا بحالة نقص تعتيق Under Aging حيث تكون السبيكة ضعيفة نتيجة لكون مناطق GP غير متطورة وبالمقابل فمن الممكن أن نحصل على حالة تعتيق زائد Over Aged في حال تسخين السبيكة لزمان طويل مما يؤدي إلى ضعف في السبيكة، ويمكن الوصول للمتانة العظمى عند التعتيق الحرج Critically Aged [2]

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 $2.7 \text{ [gr/Cm}^3\text{]}$ ، 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 $90 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ 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، والمنغنيز Mn، والسليكون Si، والزنك Zn، ونحصل بإضافة هذه العناصر للألمنيوم على سبائك الألمنيوم الأساسية والتي ترقم حسب جمعية الألمنيوم Aluminum Association كما يلي [5]:

1xxx	الألمنيوم النقي (99.0% أو أكثر نقاوة)
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

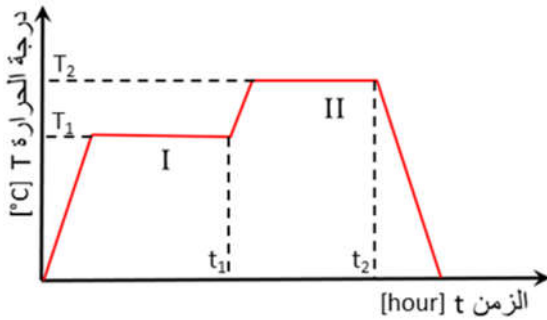
تتميز كل سلسلة من هذه السلاسل بخاصية تميزها عن باقي السلاسل كالموصلية الكهربائية الممتازة التي تتمتع بها سبائك السلسلة الأولى xxx 1 لذلك تستخدم في التطبيقات الكهربائية، والمقاومة العالية جداً كسبائك السلسلتين 2xxx و 7xxx وتستخدم بكثرة في صناعة أجزاء ومكونات



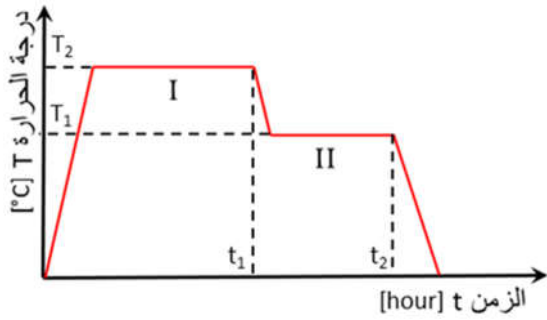
الشكل (1): الفرن المعالجة الحرارية الكهربائي

بعد ذلك قسمت العينات لمجموعتين المجموعة الأولى منهما تعرضت لتعتيق اصطناعي بمرحلة واحدة.

أما المجموعة الثانية فقد تم تعريضها لتعتيق مسبق قبل التعتيق الأساسي (تعتيق بمرحلتين)، إن هذا التعتيق المسبق (المرحلة الأولى للتعتيق) يمكن أن يتم بدرجات حرارة T_1 أقل من درجة حرارة التعتيق الأساسي T_2 (المرحلة الثانية للتعتيق) أي بشكل تصاعدي حيث $T_1 < T_2$ ، وعلى العكس من ذلك فيمكن أن يتم ذلك التعتيق المسبق (المرحلة الأولى للتعتيق) في درجات حرارة T_1 أعلى من درجة حرارة التعتيق الأساسي T_2 (المرحلة الثانية للتعتيق) أي بشكل تنازلي $T_1 > T_2$ ، ويبين الشكل (2) هاتين الحالتين، كما يبين الجدول (2) درجات حرارة وأزمنة هذه المعالجات.



a



b

الشكل (2): أشكال التعتيق بمرحلتين (a) الشكل التصاعدي، (b) الشكل التنازلي

2. الدراسات السابقة

بيّن الباحث Siddiqui [7] أن التعتيق في درجة الحرارة $175 [^{\circ}\text{C}]$ لزمن $10-8 [hour]$ قد حقق مقاومة الشد والقساوة الأعلى للسبيكة 6063 في حين أن الإبقاء في الدرجة $200 [^{\circ}\text{C}]$ لزمن $6 [hour]$ قد حقق مقاومة الزحف الأعلى.

في حين قام الباحث Tan [1] بدراسة أثر التعتيق الاصطناعي لسبائك الألمنيوم 6061-T6 لدرجات حرارة مختلفة تتراوح من $175 [^{\circ}\text{C}]$ وحتى $420 [^{\circ}\text{C}]$ ولزمن يتراوح من 2 إلى 4 [hour].

وقام الباحث JANG [6] بدراسة التعتيق الاصطناعي لسبائك Al-Cu في درجات حرارة مختلفة تتراوح من $160 [^{\circ}\text{C}]$ وحتى $190 [^{\circ}\text{C}]$ ولزمن يتراوح من 2 إلى 8 [hour] وقد حصل على أعلى مقاومة شد وإجهاد خضوع في درجة الحرارة $180 [^{\circ}\text{C}]$ لزمن إبقاء $8 [hour]$.

أما الباحث Ozturk [3] فقد قام بدراسة أثر التعتيق على تحسين الخواص الميكانيكية للألمنيوم 6061 حيث بين أن القساوة الأعلى كانت عند زمن $200 [min]$ لدرجة حرارة $200 [^{\circ}\text{C}]$.

أما الباحث Silva [4] فقد قام بدراسة التعتيق على مرحلتين لسبيكة 6063 بشكل تصاعدي وتبين أن هناك تحسن بالقساوة عند حرارة أولى $175 [^{\circ}\text{C}]$ لمدة $60 [min]$ ثم حرارة ثانية $225 [^{\circ}\text{C}]$ لمدة $40 [min]$ مقارنة بالتعتيق بمرحلة واحدة عند درجة حرارة $205 [^{\circ}\text{C}]$ لمدة $150 [min]$ إلا أنه لم يتطرق لتغير مقاومة الشد وتطور البنية المجهرية على العينات بعد تعريضها لمعالجات التعتيق.

وإن الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير التعتيق الاصطناعي بمرحلة واحدة (بدون تعتيق مسبق) والتعتيق الاصطناعي بمرحلتين (مع تعتيق مسبق) بالحالتين التصاعدي والتنازلي في درجات الحرارة على خواص الشد والقساوة وتطور البنية المجهرية لعينات من سبيكة ألمنيوم - مغنيزيوم سيليكون 6061.

2. منهج البحث

يبين الجدول (1) التركيب الكيميائي للسبيكة 6061، تم الحصول على العينات من ناتج عملية البثق لحام Billet السبيكة 6061، وقد تمت عملية البثق بعد تسخين الـ Billet في درجة الحرارة $480 [^{\circ}\text{C}]$ لمدة ساعتين، ثم تمت عملية البثق باستخدام قالب ذو مقطع مستطيل بأبعاد $32 \times 2.5 [mm \times mm]$.

تم تطبيق المعالجات الحرارية للعينات باستخدام الفرن الكهربائي المبين في الشكل (1)، تم تطبيق المعالجة الحرارية المحلولية في درجة الحرارة $530 [^{\circ}\text{C}]$ لمدة ساعة واحدة لجميع العينات المحضرة من هذه السبيكة ثم تبريدها في الماء.

جدول (1): التركيب الكيميائي للسبيكة 6061 %wt

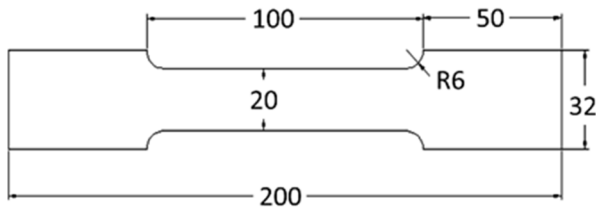
Al	Mn	Cu	Fe	Si	Mg
Bal.	0.07	0.2	0.4	0.54	0.8



الشكل (3): جهاز اختبار قساوة برينل المستخدم



الشكل (4): جهاز اختبار الشد المستخدم



الشكل (5): أبعاد عينة اختبار الشد

تم إجراء اختبار قساوة برينل Brinell وفق المواصفة ASTM-E8 عن طريق الجهاز ERNSL طراز NR3 DR المبين في الشكل (3) برأس كروي بقطر [mm] 5 وبحمولة مطبقة [Kg] 125.

وتم إجراء اختبار الشد وفق المواصفة ASTM-B557 عن طريق جهاز الاختبار TINIUS OLSEN H25KS المبين في الشكل (4)، ويظهر في الشكل (5) أبعاد عينة الشد المختبرة، وقد تم إجراء الاختبار خمس مرات لكل حالة من العينات وأخذ القيمة الوسطية لها.

جدول (2): درجات حرارة وازمنة معالجات التعتيق بمرحلة واحدة وبمرحلتين

نوع التعتيق	رقم العينة	التعتيق المسبق (المرحلة الأولى)		التعتيق الأساسي (المرحلة الثانية)	
		درجة الحرارة [°C]	الزمن [hour]	درجة الحرارة [°C]	الزمن [hour]
مرحلة واحدة	1	150	3	-	-
	2	175		-	-
	3	190		-	-
	4	205		-	-
	5	225		-	-
	6	250		-	-
مرحلتين	7	175	1	205	2
	8	175	2	205	1
	9	205	1	175	2
	10	205	2	175	1

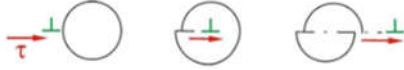
للحصول على الصور المجهرية تم استخدام المجهر الضوئي B-353 Met Optika وبمقدار تكبير 200 X وهو مزود بألة تصوير متصلة مع الحاسب حيث سُحذت سطوح العينات باستخدام جهاز الشد نصف الآلي بورق الشد المائي ذات الدرجات 600 ، 800 ، 1000 ، 1200، ثم صقلت باستخدام معجون الألماس الصناعي 0.25 μm، ثم تم تخريش سطوح العينات بغمسها لمدة تتراوح بين (10-20) ثوان في محلول الإظهار Keller's Reagent وهو ذو التركيب التالي:



2.3. تغيير خواص الشد والقساوة من أجل التعتيق بمرحلتين (مع تعتيق مسبق)

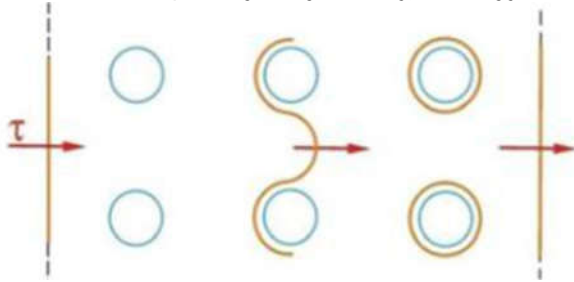
تم هنا تعريض العينات لتعتيق مسبق في المرحلة الأولى ثم للتعتيق الأساسي في المرحلة الثانية بحيث يكون المجموع الزمني لكلا المرحلتين يساوي 3 hrs، وبالتالي إذا كان زمن إحدى المرحلتين 1 hr يكون زمن المرحلة الأخرى 2 hrs وذلك حتى تتمكن من المقارنة مع حالة التعتيق ذات المرحلة الواحدة والتي كانت مدة المعالجة فيها 3 hrs. وقد تم اختيار درجتي الحرارة $175, 205 [^{\circ}\text{C}]$ لنحصل على حالتي التعتيق وهما:

- التصاعدي $175 [^{\circ}\text{C}]$ ثم $205 [^{\circ}\text{C}]$.
- التنازلي $205 [^{\circ}\text{C}]$ ثم $175 [^{\circ}\text{C}]$.



a - Cutting Through

الرواسب صغيرة جداً مقاومة حدوث القص بالانخلاعات



b - Bowing & By Pass

رواسب كبيرة قوية لا يمكن قصها حدوث ظاهرة التقوس والمرور

الشكل (8): حركة الانخلاعات بوجود الرواسب (العقد)

ويبين الجدول (4) خواص الشد (مقاومة الشد والاستطالة) وقساوة برينل للعينات المعالجة بالتعتيق الاصطناعي بمرحلتين (تصاعدياً وتنازلياً)

جدول (4): خواص الشد والقساوة للعينات المعالجة بالتعتيق بمرحلتين

القساوة [HB]	الاستطالة %	مقاومة الشد $[\text{N}/\text{mm}^2]$	التعتيق الأساسي (المرحلة الثانية)		التعتيق المسبق (المرحلة الأولى)		رقم العينة	نوع التعتيق
			درجة الحرارة $[^{\circ}\text{C}]$	الزمن [hour]	درجة الحرارة $[^{\circ}\text{C}]$	الزمن [hour]		
222	8.9	207	205	2	175	1	7	تصاعدي
227	10.3	215	205	1	175	2	8	تصاعدي
225	10.5	210	175	2	205	1	9	تنازلي
213	9.3	204	175	1	205	2	10	تنازلي

4. المناقشة

تزداد المتانة والقساوة لسبيكة الألمنيوم 6061 عند تقسيبها بالتعتيق بنتيجة تشكل رواسب Mg_2Si وهي العقد التي تعيق حركة الانخلاعات ويظهر في الشكل (8) حركة الانخلاعات بوجود رواسب صغيرة ورواسب كبيرة قوية.

3. النتائج

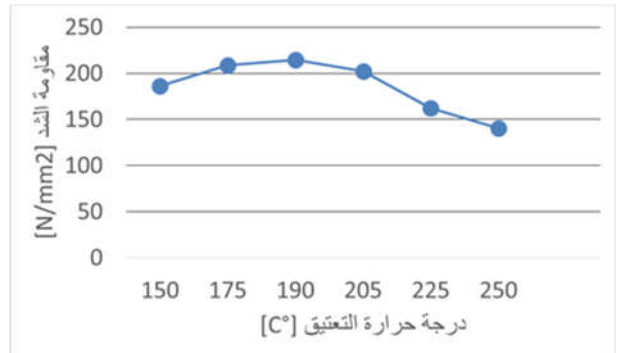
1.3. تغيير خواص الشد والقساوة بتغيير درجة حرارة التعتيق (بمرحلة واحدة بدون تعتيق مسبق)

تم تعريض العينات هنا لتعتيق اصطناعي في درجات الحرارة مختلفة هي:

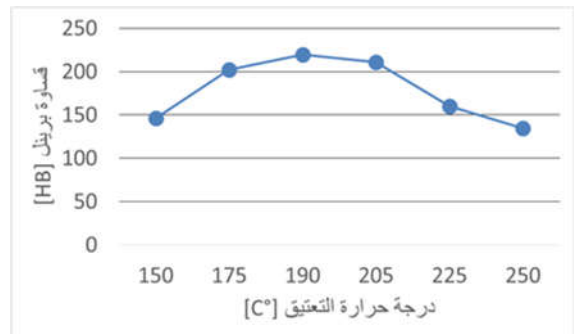
الجدول (3) خواص الشد (مقاومة الشد والاستطالة) وقساوة برينل للعينات المعالجة بالتعتيق الاصطناعي بمرحلة واحدة، ويظهر في الشكل (6) و الشكل (7) تغيرات مقاومة الشد وقساوة برينل على التوالي لعينات من السبيكة 6061 بتغيير درجة حرارة التعتيق (بمرحلة واحدة) لمدة 3 [hour]

جدول (3): خواص الشد والقساوة للعينات المعالجة بالتعتيق بمرحلة واحدة

رقم العينة	درجة الحرارة $[^{\circ}\text{C}]$	الزمن [hour]	مقاومة الشد $[\text{N}/\text{mm}^2]$	الاستطالة %	القساوة [HB]
1	150	3	186.5	18.8	146
2	175	3	208.8	12.3	202
3	190	3	214.7	11.6	220
4	205	3	202.4	10.6	211
5	225	3	162.2	9.3	160
6	250	3	140.3	8.7	135



الشكل (6): تغيير مقاومة الشد للسبيكة 6061 بتغيير درجة حرارة التعتيق الاصطناعي



الشكل (7): تغيير قساوة برينل للسبيكة 6061 بتغيير درجة حرارة التعتيق الاصطناعي



a



b



c

وتبعاً لظاهرة نصف القطر الحرج المقابل لدرجة حرارة التعتيق فإنه وخلال نمو الرواسب تكون الرواسب التي نصف قطرها أكبر من نصف القطر الحرج مستقرة بينما تكون معظم الرواسب التي نصف قطرها أقل من نصف القطر الحرج غير مستقرة ومنحلة، لكنها من الممكن أن تنتوي من جديد. وعند درجات حرارة تعتيق أعلى فإنه ستتشكل رواسب بحجم أكبر نتيجة لنصف القطر الحرج الكبير المقابل لتلك الحرارة العالية ووجود زمن إبقاء فإن الرواسب ستتمو [2].

وعلى أي حال يجب الانتباه بأن التعتيق الزائد سيؤدي إلى انخفاض في القساوة والمتانة أي إنه تزداد القساوة إذا كانت الرواسب كبيرة وقوية وتمكنت من مقاومة حدوث القص بالانخلاعات، بحيث تسمح بتشكيل ظاهرة المرور بالتقوس وتشكل الحلقات. وفي حال كانت الرواسب صغيرة فيجب أن تكون بأعداد كبيرة وتوزع منتظم.

عند التقسية بالتعتيق في درجة حرارة T_1 يكون نصف القطر الحرج المقابل لهذه الحرارة هو RC_1 فإن العقد التي لديها نصف قطر R_1 بحيث $R_1 > RC_1$ سوف تحيا وتستمر بالنمو في حين أن معظم العقد التي لها نصف قطر R_2 أقل من نصف القطر الحرج RC_1 ستكون غير مستقرة ومنحلة.

ومن أجل المرحلة التالية للتعتيق وفي حال انخفاض درجة الحرارة إلى T_2 ($T_2 < T_1$) فإن نصف القطر الحرج المقابل لهذه الحرارة هو RC_2 وبالطبع سيكون $RC_2 < RC_1$ ، فإن العقد المتبقية من مرحلة التعتيق الأولى التي لها حجم بنصف قطر $R_2 > RC_2$ سوف تحيا وتستمر بالنمو، وسوف تتشكل عقد جديدة بنصف قطر $R_3 > RC_2$ التي تستمر بالنمو بينما ستحل معظم العقد التي لها نصف قطر أقل من RC_2 .

يبين الشكل (9) الصور المجهرية لعينات معالجة بالتعتيق الاصطناعي في شروط مختلفة وهي:

a - البنية المجهرية للعينة رقم (1) وهي معالجة بتعتيق مرحلة واحدة في درجة الحرارة $150 [^{\circ}C]$ لمدة 3 [hour] ويلاحظ وجود عدد قليل من العقد غير مكتملة النمو، إن التعتيق في هذه الحالة تعتيق ناقص والقساوة منخفضة $146 [HB]$.

b - البنية المجهرية للعينة رقم (6) وهي معالجة بتعتيق مرحلة واحدة في درجة الحرارة $250 [^{\circ}C]$ لمدة 3 [hour] ويلاحظ وجود عدد من العقد الكبيرة وانحلال عقد أخرى نتيجة النمو الزائد، إن التعتيق في هذه الحالة تعتيق زائد أو مفرط والقساوة منخفضة $135 [HB]$.

c - البنية المجهرية للعينة رقم (3) وهي معالجة بتعتيق مرحلة واحدة في درجة الحرارة $190 [^{\circ}C]$ لمدة 3 [hour] ويلاحظ ترسب عدد كبير من العقد لها توزيع جيد وحجم متماثل، إن التعتيق في هذه الحالة هو التعتيق الأمثل والقساوة عظمى $220 [HB]$.

الشكل (9): الصور المجهرية لعينات مختلفة من السبيكة 6061

في حين يبين الشكل (10) الصور المجهرية للعينة رقم (8) وهي معالجة بتعتيق لمرحلتين الأولى في درجة الحرارة $175 [^{\circ}C]$ لمدة 2 [hour] والثانية في درجة الحرارة $205 [^{\circ}C]$ لمدة 1 [hour]، ويلاحظ ترسب عدد كبير من العقد الصغيرة ونمو مثالي لبعض العقد، بلغت قيمة القساوة هنا $227 [HB]$.

Reference

- [1]. Chee Fai Tan & Mohamad R. Said 2009, Effect of Hardness Test on Precipitation Hardening Aluminum Alloy 6061-T6, Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Malaysia.4
- [2]. Derek Hull, D. J. Bacon, 2011, Introduction to Dislocations 5th Edition, Elsevier.8
- [3]. F. Ozturk, A. Sisman, S. Toros, S. Kilic & R.C. Picu 2010, Influence of aging treatment on mechanical properties of 6061 aluminum alloy, Science Direct, Turkey.6
- [4]. G I P De Silva, R A D Perera 2013, Improvement Of The Mechanical Properties Of Aluminum 6063 T5 Extrudates By Varying The Aging Condition Cost-Effectively, University Of Moratuwa, Srilanka.7
- [5]. George E. Tot ten and D. Scott MacKenzie, 2003, Handbook of Aluminum Volume 7 Physical Metallurgy and Processes, MARCEL DEKKER, INC.1
- [6]. Jae-Ho JANG, Dae-Geun NAM, Yong-Ho PARK & Ik-Min PARK 2012, Effect of Solution Treatment and Artificial Aging on Microstructure and Mechanical Properties of Al–Cu alloy, Pusan National University, Korea.5
- [7]. Raq A. Siddiqui, Hussein A. Abdullah 1999, Influence of aging parameters on the mechanical properties of 6063 aluminium alloy, Sultan Qaboos University, Oman.3
- [8]. TapanyUdomphol 2007, Aluminum and its Alloy, Suranaree University of Technology.2



الشكل (10): صورة مجهرية لعينة من السبيكة 6061 معرّضة لتعتيق بمرحلتين

5. الاستنتاجات

1. تم الوصول إلى القيم العظمى لمقاومة الشد $214.7 [N/mm^2]$ والقساوة $220 [HB]$ للسبيكة 6061 عند معالجتها بالتعتيق لمرحلة واحدة في درجة الحرارة $190 [^{\circ}C]$ لمدة $3 [hour]$.
2. أدت المعالجة بالتعتيق لمرحلة واحدة في درجات الحرارة الأعلى من $205 [^{\circ}C]$ لانخفاض في قيم مقاومة الشد والقساوة بسبب الدخول في حالة التعتيق الزائد أو المفرط للسبيكة 6061.
3. كانت قيم القساوة ومقاومة الشد للسبيكة 6061 عند تعتيقها على مرحلتين أعلى بمقدار بسيط من هذه القيم عند تعتيق نفس السبيكة بمرحلة واحدة، فلم يحقق التعتيق ذو المرحلتين فارق كبير في مواصفات السبيكة 6061 بحيث يمكن القول بأن لا فائدة عملياً من استخدام التعتيق ذو المرحلتين لتحسين خواص السبيكة 6061.
4. تم الوصول إلى القيم العظمى لمقاومة الشد $215 [N/mm^2]$ والقساوة $227 [HB]$ للسبيكة 6061 عند معالجتها بالتعتيق لمرحلتين الأولى في درجة الحرارة $175 [^{\circ}C]$ لمدة $2 [hour]$ والثانية في درجة الحرارة $205 [^{\circ}C]$ لمدة $1 [hour]$.
5. أن نتائج القساوة ومقاومة الشد في التعتيق على مرحلتين كانت متقاربة جداً سواءً تم ذلك بشكل تصاعدي أو تنازلي.

The Effect of pre-aging treatments on Tensile Properties and Hardness for Aluminum Alloys

Mahmoud AlAssaad¹, and Mohamad Yehea Al nefawy^{2,*}

¹ Mechanical and Electrical Engineering Collage, Al-Baath University, Homs, Syria.

² Mechanical and Electrical Engineering Collage, Al-Baath University, Homs, Syria, yahya.nefawy@gmail.com

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

Published online: 31 December 2019

Abstract— In this research the effect of artificial aging on tensile strength and hardness for Al-Mg-Si (6061 Aluminum alloy) was study, samples from 6061 alloy were submitted to one step artificial aging for different temperatures, while others samples were submitted to two steps artificial aging (where there is a first stage as pre-aging) in descending and ascending modes. The results showed that the highest tensile strength values were reached 214.7 [N/mm²] and hardness were reached 220 [HB] for 6061 Aluminum alloy when the samples were treated by one-step ageing in 190 [°C] for 3 [hour]. While tensile strength and hardness values of samples treated by two-step ageing were slightly higher than these values when the samples was aged at one stage. Where the maximum values of tensile strength was 215 [N/mm²] and for hardness was 227 [HB] when the 6061 alloy treated with two-step ageing the first one in 175 [°C] for 2 [hour] and the second one in 205 [°C] for 1 [hour].

Keywords— Al-Mg-Si Alloys, 6061, artificial aging, two-steps aging, pre-aging, mechanical properties.