

تأثير المعالجة الحرارية المسبقة T4 على خصائص الوصلة الملحومة بطريقة لحام المزج الاحتكاكي لسبيكة الألمنيوم-6082-AA

طالبة الماجستير: ريم قاص بولات¹

إشراف: الدكتور محمود الأسعد²

المخلص: تم اعتماد منهجية معينة قائمة على تطبيق معالجة حرارية مسبقة على سبيكة الألمنيوم 6082 ومن ثم اللحام بطريقة المزج الاحتكاكي لصفيحتين بالأبعاد (100mm×60mm×8mm) ومقارنة النتائج. تم تطبيق المعالجة الحرارية T₄ والمؤلفة من محلولية بدرجتي حرارة (500°-550°)C وزمني ابقاء (30min-1h) ومن ثم بُردت العينات بالماء البارد ومن ثم عُتِقَتْ طبيعياً بالإبقاء لفترتين زمنيتين (أسبوع-15 يوم). تم اختبار العينات قبل اللحام وتسجيل النتائج وبعد ذلك نُفِذَ اللحام على العينات المعالجة باستخدام أداة من الفولاذ وخطوتي لحام. أُجريت الاختبارات على العينات وتم تسجيل النتائج وتحليلها احصائياً باستخدام طريقة تاغوتشي ولوحظت كفاءة المعالجة المسبقة بتحسين خواص الوصلة اللحامية حيث كانت أفضل قيمة لمقاومة الشد 236,4Mpa عند درجة حرارة 550°C وزمن 1h وتعتيق لمدة 15يوم.

الكلمات المفتاحية: المعالجات الحرارية المسبقة- سبيكة الألمنيوم 6082- لحام المزج الاحتكاكي- معالجة المحلولية- تعتيق طبيعي

¹ طالبة ماجستير في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -قسم التصميم والإنتاج- جامعة حمص
² أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم والإنتاج في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة حمص

Effect of Pre-Heat Treatment T_4 on Properties of Weld Joint by Friction Stir Welding for Aluminum Alloy -AA 6082-

Master's student: Reem Qas Bwlat³

Supervised by: Dr.Mahmoud Al-Asaad⁴

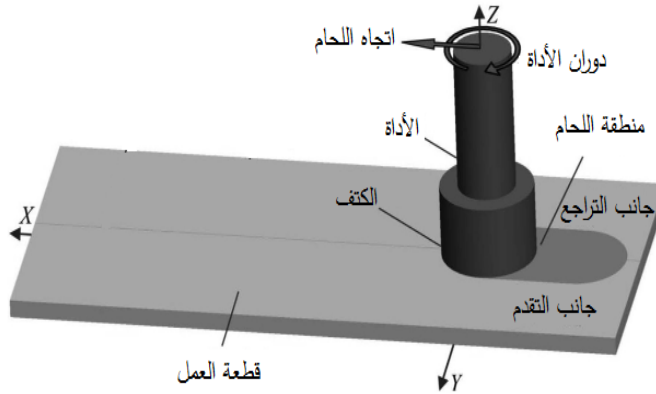
Abstract: A specific methodology was adopted based on applying a pre-heat treatment to aluminum alloy 6082 and then weld the two plates with dimensions (100×60×8)mm by friction stir welding then comparison between the results. Heat treatment was applied consisting of a solution at two temperatures of (500–550)°C and a holding time (30min–1hour) then the samples were cooled with cold water and then naturally aged by keeping for two periods of time (a week–15 days). The samples were tested before welding and the results were recorded after that welding was carried out on the treated samples using a steel tool and two welding steps. Tests were conducted on the samples and the results were recorded and statistically analyzed using the Taguchi method. The efficiency of the pre-treatment was noted by improving the properties, as the best value for tensile strength was 236 Mpa. At a temperature of 550°C, a time of 1 hour, and aging for 15 days.

³ Master's student in the faculty of mechanical and electrical engineering-Design and production department-Homs university

⁴ Assistant professor in the Design and production department at the faculty of mechanical and electrical engineering- Homs university

Keywrds: pre Heat Treatment– Aluminum Alloy 6082– Friction Stir Welding– Solution Treatment– Natural Aging.

مقدمة: يعتبر اللحام من أهم طرائق وصل الأجزاء والهياكل المعدنية للحصول على المنتج النهائي المطلوب إلا أن العديد من طرائق اللحام بحاجة لضبط بعض البارامترات من أجل الحصول على وصلة ذات صفات مرغوبة وخالية من العيوب قدر الإمكان حيث ظهرت في عام 1991 طريقة اللحام بالمزج الاحتكاكي والتي تم اكتشافها على يد Wayne Thomas في بريطانيا حيث ظهرت هذه الطريقة بدايةً كتطبيق مخبري لكن سرعان ما تم اكتشاف أهميتها في وصل العديد من المعادن وخاصة الألمنيوم[1].



الشكل (1): مراحل عملية لحام المزج الاحتكاكي [2]

على الرغم من فعالية طريقة اللحام بالمزج الاحتكاكي في وصل المعادن إلا أنه لابد للوصلة من أن تتعرض لتدهور في بعض الخواص الميكانيكية بفعل الحرارة والاحتكاك الناتجة عن العملية بالكامل لذا كان لابد من اجراء معين يمنع أو يخفف قدر الإمكان من هذا التدهور ألا وهو المعالجات الحرارية حيث تؤثر الحرارة بشكل كبير على بنية المعادن و تعمل على تحويل المادة من حالة فيزيائية إلى أخرى تؤدي لتغيير الترتيب الذري هذا بالإضافة لتغيير كمية التشوهات ضمن البنية البلورية، وللاستفادة من هذا التأثير بشكل يخدم زيادة الطلب على المواد المعدنية وللحصول على

مواد أكثر حداثة تلبي متطلبات العصر كان لابد من توظيف هذا التأثير بآلية معينة وبترتيب معين للبارامترات يخدم تحسين خواص الوصلات الملحومة بطريقة لحام المزج الاحتكاكي.

تشمل المعالجات الحرارية كافة عمليات التسخين والإبقاء عند درجات حرارة ثابتة ومن ثم التبريد بمعدلات مناسبة في أوساط تبريد مختلفة للمنتجات المعدنية بهدف تغيير كل من الخواص الميكانيكية، البنية الداخلية بالإضافة للتحكم قدر الإمكان بحالة الإجهادات المتبقية ضمن هذه المنتجات لتؤدي الغرض المصنوعة لأجله حيث تنوعت المعالجات الحرارية لابل طبقت بآلية تسمح بالجمع ما بين أكثر من معالجة واحدة فقط وأطلق عليها رموز ودلالات حسب أنظمة التوصيف الحراري.

الجدول (1): رموز ودلالات أنظمة التوصيف الحراري [3]

F	السبيكة كما تم تلقيها من عمليات التشكيل المختلفة وذلك دون ذكر معلومات عن أي نسب تشكيل أو حرارة معينة
O	التخمير وهي المعالجة التي تطبق على السبيكة من أجل الحصول على أفضل مطيلية وثبات في الأبعاد
H	التصلد الانفعالي وهي العمليات التي تطبق على السبيكة وذلك من أجل تقويتها من خلال عمليات التشكيل المختلفة ومن الممكن أن تلحق عمليات التشكيل بعض المعالجات الحرارية وعادةً ما يلحق بالحرف H رقمين أو أكثر
W	المحلولية وهي خاصة بالسبائك التي تعتق عند درجة حرارة الغرفة
T	المعالجة الحرارية وهي مجموعة معالجات تختلف عن ظروف الدلالات السابقة وتطبق عادةً على السبائك التي يمكن أن تخضع لبعض عمليات التشكيل عادةً ما تلحق الحرف T رقمان أو أكثر

للحصول على الحاجة المرجوة من المعالجات الحرارية لا بد من معرفة كل من درجة الحرارة، زمن الإبقاء ومعدلات التبريد المناسبة لكل معدن لأنه في حال عدم ملائمة أي عامل من العوامل السابقة مع المعدن المعالج يؤدي بدوره لتأثير ضار وغير مرغوب به فيما يخص خواص المعدن.

بدأ العديد من الباحثين بإجراء دراسات وابحاث تجمع ما بين اللحام والمعالجة الحرارية وذلك للاستفادة من إمكانية الآليتين للحصول على الخواص المرجوة والمطلوبة كما لجأ البعض منهم لتنظيم سير عملية التجارب بشكل أكثر تنظيماً وبوقت أقصر باعتمادهم على طرق تصميم التجارب وكان أكثرها شهرة واعتماداً في الأبحاث طريقة تاغوتشي والتي تم اقتراحها من قبل Dr.Genichi Taguchi في أواخر الـ 1950 وبداية الـ 1960 حيث اعتمدت هذه الطريقة على نظام معين قائم على تشكيل مصفوفة الهدف منها دراسة بارامترات العملية لكن بعدد أقل من التجارب العملية كما أنها تتيح للباحث تحديد أي بارامتر يملك التأثير الأكبر في العملية المدروسة [4].

قام الباحثون A.ALDwairi وآخرون بإجراء عدد من التجارب لمعرفة كفاءة المعالجة الحرارية المسبقة للحام وذلك بمعالجة قطعة من سبائك الألمنيوم-النحاس بسماكة 8mm حيث كانت المعالجة عبارة عن تخمير بدرجة حرارة 415°C لمدة 1,5h ومن ثم تقسية بالماء البارد كما اتجه الباحث أيضاً إلى منهجية أخرى في المعالجة فكانت سلسلة المعالجة الأخرى للقطعة هي عبارة عن محلولية عند درجة حرارة 490°C لمدة 1h ومن ثم تقسية بالماء ومن ثم تعتيق طبيعي عند درجة حرارة الغرفة ثم أجريت عملية اللحام بالمزج الاحتكاكي و توصل الباحث إلى أن الوصلة المعرضة لتعتيق مسبق تمتلك أكبر قيمة للقساوة وأقل معدل للاهتراء مقارنة بالوصلة المعرضة للتخمير المسبق [5].

قام الباحثون H.Aydin وآخرون عام 2009 بإجراء مجموعة من التجارب على سبيكة الألمنيوم 2024 من خلال تطبيق عدد من المعالجات الحرارية على صفيحتين بسماكة 3mm حيث قسمت المعالجات الحرارية إلى خمس مجموعات وهي:

الجدول(2): مجموعات المعالجات الحرارية الخمسة

رقم المجموعة	رمز	محلولة		سقاية	تعتيق اصطناعي		تعتيق طبيعي
		درجة الحرارة	زمن الإبقاء		درجة الحرارة	زمن الإبقاء	
1	T_4	510°C	2,5 h	ماء بارد	/	/	عدة سنوات
2	W	510°C	2,5 h	ماء بارد	/	/	/
3	T_{6d}	510°C	2,5 h	ماء بارد	100°C	10h	/
4	T_{6t}	510°C	2,5 h	ماء بارد	190°C	10h	/
5	O	510°C	2,5 h	هواء	/	/	/

بعد تطبيق هذه المعالجات أجرى الباحث لحام مزج احتكاكي لوصل الصفيحتين و توصل بأن للمحلولة والتعتيق دور كبير في تحسين كفاءة الوصلة حيث أن أفضل قيمة للمتانة يتم الحصول عليها من عينات المجموعة الرابعة وللقساوة والمتانة معاً هي عينات المجموعة الأولى أما بالنسبة للاستطالة فيتم الحصول عليها من عينات المجموعة الخامسة[6] .

قام الباحثون S.Verma وآخرون بعام 2019 بدراسة تأثير ثلاثة ظروف حرارية مختلفة على السبيكة 6082 حيث اعتمد الباحث في خطته البحثية على دراسة وصلة ملحومة بدرجة حرارة الغرفة بالإضافة لثلاث وصلات مسخنة مسبقاً لثلاث درجات حرارة مختلفة (100-125-150)°C بالإضافة لثلاث وصلات مبردة مع اللحام بثلاث طرق بالماء الفاتر والماء البارد والحار بدرجات حرارة على الترتيب 2°C، 22°C، 65°C وبعد الدراسة والبحث تبين للباحثين بأن أقل معدل اهتراء كان عند تسخين الوصلة للدرجة 100°C [7].

لجأ الباحثون R.poongkundran وآخرون في عام 2016 إلى تسخين صفيحة من سبيكة الألمنيوم AA7075 بسماكة 6,35mm لدرجات حرارة مختلفة (100-150-200-250)°C حيث تم تنفيذ لحام المزج الاحتكاكي بعد التسخين للعينات وفي النهاية توصل الباحث بأنه يتم الحصول على

أفضل قيم للخواص الميكانيكية عند التسخين لدرجة حرارة 100°C وتبدأ الخواص بالانحدار بالارتفاع بدرجة الحرارة [8] .

قام الباحثون (A.Alnajjar) عام 2021 بدراسة لمعرفة كفاءة المعالجة الحرارية المسبقة للحام قطعتين من سبيكة الألمنيوم 6061 بسماكة 5mm حيث اعتمد في معالجته الحرارية المسبقة على عدة ترتيبات.

الجدول(3): منهجية ترتيب المعالجات الحرارية

1	مجموعة عينات المعالجة محلولياً عند درجة حرارة 530°C وزمن إبقاء لمدة ساعة ومن ثم التبريد بالماء البارد
2	مجموعة عينات المعالجة طبيعياً وذلك لمدة اسبوع
3	مجموعة العينات المعالجة اصطناعياً عند درجتى حرارة $(180-220)^{\circ}\text{C}$ وأزمنة إبقاء -2-1) 6-10) h

توصل الباحث بأن الحالة الأولية للمعدن تؤثر بشكل كبير على كفاءة الوصلة الملحومة حيث كانت وسطياً بحدود 60% ووصلت بشكل أعظم إلى 99% [9].

من خلال الدراسات السابقة نلاحظ اهتمام معظم الأبحاث بدراسة تأثير المعالجة الحرارية التي تسبق لحام المزج الاحتكاكي لذا في هذا البحث سوف يتم دراسة تأثير المعالجة الحرارية المسبقة على وصلة لحام مزج احتكاكي لسبيكة ألومنيوم 6082 من خلال اجراء عدد من التجارب ومن ثم اجراء عدد من الاختبارات الميكانيكية على العينات لابل سوف يتم الاستعانة بطريقة تاغوتشي لتصميم تجارب البحث والمساعدة في معرفة البارامتر الذي يملك التأثير الأكبر على الخواص الميكانيكية.

هدف البحث: يهدف البحث إلى زيادة كفاءة المنتجات المصنوعة من سبائك الألومنيوم ويركز بالأخص على الوصلات اللحامية المنجزة بطريقة لحام المزج الاحتكاكي للسبيكة 6082 بسماكة

8mm وذلك لما لهذه السبيكة أهمية في كثير من التطبيقات الصناعية ولصعوبة لحام هذه القيمة من السماكة دون ظهور مشاكل وعيوب في الوصلة اللحامية وذلك من خلال الاعتماد على قدرة المعالجات الحرارية المسبقة وخاصةً T4 المكونة من محلولية و تعتيق طبيعي.في التأثير على توزع العناصر الأساسية للسبيكة بمنظومة معينة وذلك وفقاً للخاصية المطلوب تحسينها وفي الحد والتخفيف من الآثار اللاحقة لبارامترات عملية اللحام على السبيكة المدروسة وبالتالي توظيف المعالجة الحرارية المسبقة للحصول على وصلة لحامية بمواصفات جيدة.

مواد وطرق البحث:

أولاً: فرن المعالجة الحرارية:

تم استعمال فرن المعالجة الحرارية نوع CARBOLITE بحيث تصل أعلى درجة حرارة للدرجة 1200°C ويبين الجدول التالي مواصفات الفرن المستخدم

الجدول (4): المواصفات الفنية لفرن المعالجة الحرارية المستخدم

1200°C	درجة الحرارة العظمى
1100°C	درجة حرارة التشغيل
45min	الزمن اللازم للتسخين الكامل
400×245×235mm	أبعاد الحجرة
705×505×675mm	الأبعاد الخارجية
905×505×675mm	الأبعاد الخارجية مع الباب
13Lit	الحجم
7000W	الاستطاعة العظمى
63Kg	الوزن الكلي

ويتم استخدام الفرن من أجل معالجة العينات قبل اللحام بالإضافة لمعالجة أداة اللحام قبل تشكيلها.



الشكل(2):الفرن الكهربائي المستخدم في المعالجة الحرارية

يتم اعتماد معالجة حرارية تطبق على القطع قبل اجراء عملية الوصل بعملية المزج الاحتكاكي وهي عبارة عن المعالجة T_4 والتي تتألف من المحلولة والتعتيق الطبيعي.

الجدول(5): المعالجة الحرارية المسبقة المطبقة قبل تنفيذ اللحام

T_4						
التعتيق الطبيعي		السقاية	المحلولة			
زمن الإبقاء		تبريد	زمن الإبقاء		الحرارة	
time2	time1	بالماء	time2	time1	T2	T1
15days	7days	البارد	1h	30min	550	500

ثانياً: المواد الخام والعينات:

المادة المستخدمة في هذا البحث هي عبارة عن سبيكة ألومنيوم 6082 وتم التحقق من التركيب الكيميائي لهذه السبيكة باستخدام جهاز التحليل الطيفي (Spectro Analytical Instrument) حيث تم الحصول على النتائج وهي مطابقة لمعايير (B209M-ASTM).

تأثير المعالجة الحرارية المسبقة T4 على خصائص الوصلة الملحومة بطريقة لحام المزج الاحتكاكي لسبيكة
الألومنيوم-AA 6082

الجدول(6): التركيب الكيميائي للسبيكة المستخدمة في البحث

العنصر	Al%	Si%	Fe%	Cu%	Mn%
6082 المعيارية	rest	0,7-1,3	0,50	0,10	0,4-1
نتائج التحليل المقاسة	97,4	0,948	0,269	0,061	0,399
العنصر	Mg%	Cr%	Zn%	Ti%	-
6082 المعيارية	0,6-1,2	0,25	0,20	0,10	-
نتائج التحليل المقاسة	0,739	0,018	0,028	0,021	-



الشكل(3): العينة كما تم تلقيها

تم شحذ وجه العينة قبل قصها وتنظيفها وذلك منعاً لأي خطأ أو عرقلة في عملية القياس والاختبار فيما بعد ومن ثم تم الاعتماد على الفارزة نوع (Liang Wai Milling Machine) من أجل تقسيم العينة للأبعاد الأولية وفيما بعد تم تقطيع العينات يدوياً بالمنشار اليدوي وتنظيف الأسطح الجانبية بالجلخ الأرضي للحصول على القطع النهائية بالأبعاد (60×100×8)mm.



الشكل(4): مراحل تجهيز العينات

ثالثاً: آلة اللحام والأداة:

بناءً على القراءة المكثفة للأبحاث السابقة ومعرفة مزايا ومساوئ كل أداة على حدة وبناءً على السماكة المختارة تم الاعتماد على شكل أداة ذات رأس مخروطي وكتف مسطح من فولاذ H13 و هو نوع من أنواع الفولاذ السبائكي حيث يملك خواص ميكانيكية مميزة لأداة اللحام كتحمل التعب الحراري ودورات التسخين والتبريد ومقاومته للتآكل والتكسير كما يتمتع بالاستقرار عند المعالجة الحرارية وهو ذو صلابة عالية ويستخدم على نطاق واسع لأدوات اللحام [10].

الجدول (7): أبعاد أداة اللحام المستخدمة

قطر الكتف	طول الكتف	القطر الأول للرأس	القطر الثاني للرأس	طول الرأس
20mm	25mm	6mm	7,5mm	7,9mm

تأثير المعالجة الحرارية المسبقة T4 على خصائص الوصلة الملحومة بطريقة لحام المزج الاحتكاكي لسبيكة
الألمنيوم-AA 6082

تم تنفيذ المعالجات الحرارية المطلوبة بحيث يتم التخمير للأداة بشكل تدريجي لتقل قساوتها ومن ثم يتم تشكيلها وصولاً للشكل المطلوب.

بعد الحصول على الشكل النهائي المطلوب للأداة يتم اجراء معالجة التقسية وذلك لزيادة قساوة مادة الأداة وكذلك زيادة مقاومتها للتعب الحراري وللتآكل، حيث تتم المعالجة على مرحلتين ومن بعدها يتم تطبيق المراجعة النهائية على الأداة ويتم تكرارها مرتين متتاليتين بنفس البارامترات الحرارية وذلك لضمان التحول الكامل للأوستنيت المتبقي إلى مارتنيسيت حيث تم قياس قساوة الأداة وكانت 657HV وهي مقارنة للقيم المرجعية.

الجدول (8): المعالجات الحرارية المطبقة لتجهيز الأداة

تخمير Annealing		تسلي	تقسية Hardening				إرجاع Tempering	
			تسخين preheat		Austenitizing			
T	Time		T	Time	T	Time	T	Time
220	15min		220	1h	1190	4min	540	1h
420	15min		500	1h	تبريد بالزيت		تكرر معالجة الارجاع مرتين عند نفس الشروط والتبريد بالهواء	
640	15min		730	1h				
870	15min							
تبريد بالفرن لـ 540								
تبريد نهائي بالهواء								



الشكل (5): أداة اللحام النهائية

يتم تنفيذ اللحام على الفارزة العامودية نوع ARHYM وذلك بوضع القطع المراد لحامها على طاولة الآلة والتثبيت الجيد والمعايرة بشكل دقيق ويتم اعتماد خطوتين للحام بشكل ثابت وزاوية إمالة بمقدار 2° .



الشكل (6): آلة اللحام (الفارزة)

الجدول(9): بارامترات اللحام المستخدمة

الخطوة/mm/rot	سرعة التقدم/mm/min	سرعة الدوران/rpm
0,04	45	1110
0,19	218	

رابعاً: أساسيات التصميم وترتيب العينات:

يتم بدايةً وبالاكتفاء على كل من بارامترات المعالجة واللحام ترتيب العينات باستخدام برنامج minitab والاعتماد على طريقة تاغوتشي في تصميم التجارب.

في البدء يتم تشكيل مصفوفة عامودية بأربعة عوامل لكل عامل (بارامتر) مستويين أي قيمتين وبالتالي يتم الحصول على مصفوفة L8 بثمان سطور وأربعة أعمدة وعليه يتم الحصول على ثمان عينات للاختبار.

الجدول (10): المصفوفة العمودية لترتيب عينات التجارب في البحث

↓	C1	C2	C3	C4
	Tw	soaktime	timeaging	pitch
1	500	30	7	0.04
2	500	30	15	0.19
3	500	60	7	0.19
4	500	60	15	0.04
5	550	30	7	0.19
6	550	30	15	0.04
7	550	60	7	0.04
8	550	60	15	0.19

فيما بعد يتم تصنيف العوامل بالترتيب من الأكثر تأثير إلى الأقل تأثير بعد الحصول على نتائج الاختبار ويعتمد ذلك على مفهوم الرتبة في تصنيف البارامترات (العوامل) حسب أهميتها تنازلياً، أي أن العامل ذو الرتبة الأولى يكون العامل الأكثر تأثيراً وتحدد رتبة كل عامل بناءً على قيمة Delta والتي تمثل الفرق بين متوسطات الاستجابة عند أعلى وأدنى مستوى لكل عامل.

خامساً: تنفيذ اللحام :

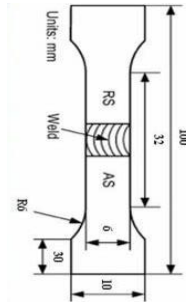
يتم اجراء اختبارات للعينة قبل اجراء أية معالجة حرارية ولحام وذلك للمقارنة فيما بعد بين النتائج. كما يتم لحام عينتين دون أية معالجة حرارية وتسجيل النتائج أيضاً للمقارنة فيما بعد. يتم اعتماد ثمان عينات تتم معالجتها بناءً على الترتيب السابق ضمن فرن المعالجة الحرارية ويتم تنفيذ اختبار الشد عليها لمعرفة النتائج. فيما بعد يتم تنفيذ المعالجة الحرارية على ثمان عينات أخرى ومن ثم اللحام على الفارزة العمودية بحيث يتم البدء بمرحلة الغرز لأداة اللحام ومن ثم شوط التقدم ومن ثم مرحلة التراجع للأداة.



الشكل (7): تنفيذ اللحام على العينات المعالجة حرارياً

سادساً: الاختبارات التجريبية والاحصائية والنتائج:

يتم اجراء اختبار الشد على جهاز الشد نوع (TINIUS OLSEN HK50S) أما عينة اختبار الشد للحام فيتم اقتطاعها بشكل عمودي على خط اللحام وبالأبعاد الموضحة بالشكل (8) حسب المواصفة ASTM E8M [11].



الشكل(8): جهاز اختبار الشد وشكل عينة الاختبار

تقسم مجموعات الاختبار لأربعة مجموعات وهي :

- العينة الأساس كما تم تلقيها
- مجموعة العينات الملحومة فقط دون معالجة مسبقة
- مجموعة العينات المعالجة فقط
- مجموعة العينات المعالجة مسبقاً والملاحمة فيما بعد

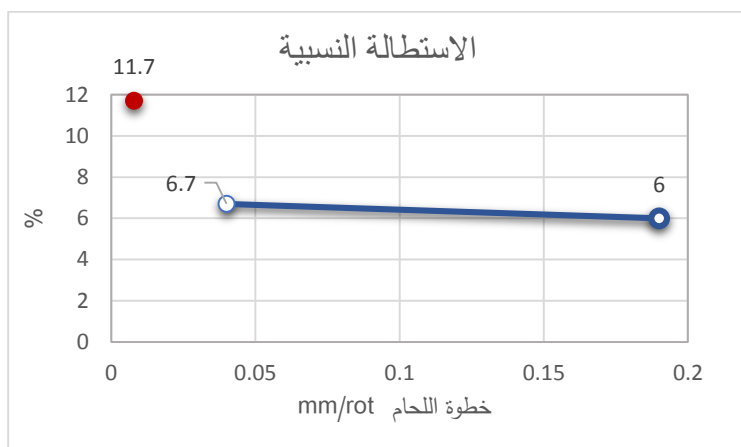
وفيما يلي جداول بأهم النتائج للمجموعات الأربعة:

الجدول(11): نتائج اختبار العينة الأساس

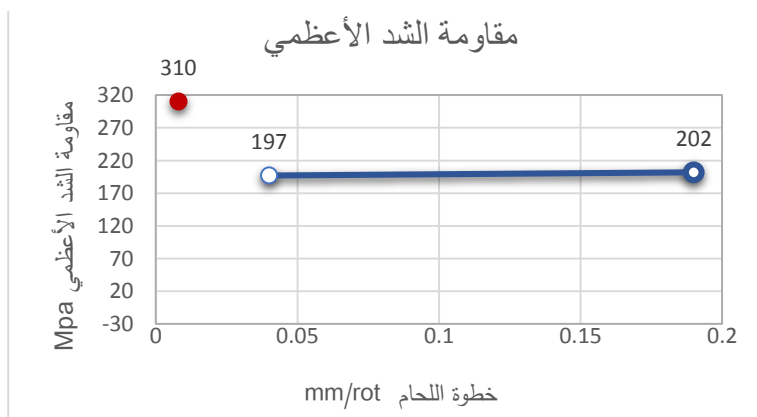
الإستطالة	مقاومة الشد الأعظمي
11,7 %	310 Mpa

الجدول (12): نتائج اختبار العينات الملحومة فقط

W2	W1	رقم العينة
1100 rpm	1100 rpm	بارامترات اللحام
mm/min218	mm/min45	
0,19 mm/rot	0,04 mm/rot	
202,783	197,836	مقاومة الشد الأعظمي Mpa
6	6,7	الإستطالة %



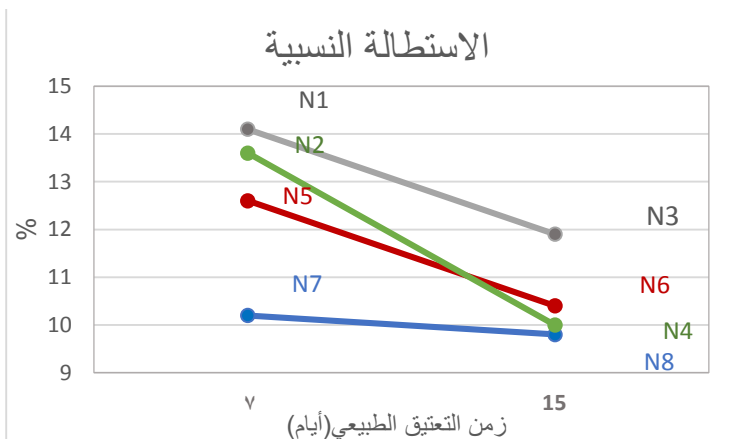
الشكل (9): مقارنة الاستطالة النسبية للعينات الملحومة كما تم تلقيها مع المعدن الأساس



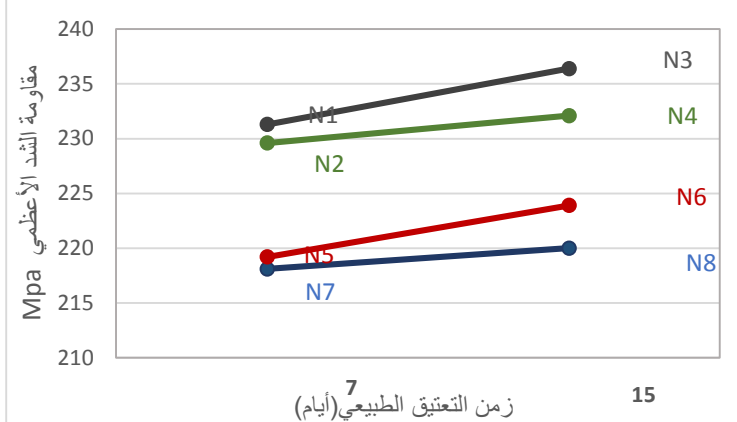
الشكل (10): مقارنة مقاومة الشد العظمي للعينات الملحومة للسبيكة كما تم تلقيها مع المعدن الأساس

الجدول(13): نتائج اختبار مجموعة العينات المعالجة فقط

الاستطالة %	مقاومة الشد الأعظمي Mpa	التعتيق الطبيعي Days	بارامترات المحلولية		N
			min	C°	
10,2	218,1	7	30	500	N1T4
9,8	220	15	30	500	N2T4
12,6	229,6	7	60	500	N3T4
10,4	232,1	15	60	500	N4T4
13,6	219,2	7	30	550	N5T4
10	223,9	15	30	550	N6T4
14,1	231,3	7	60	550	N7T4
11,9	236,4	15	60	550	N8T4



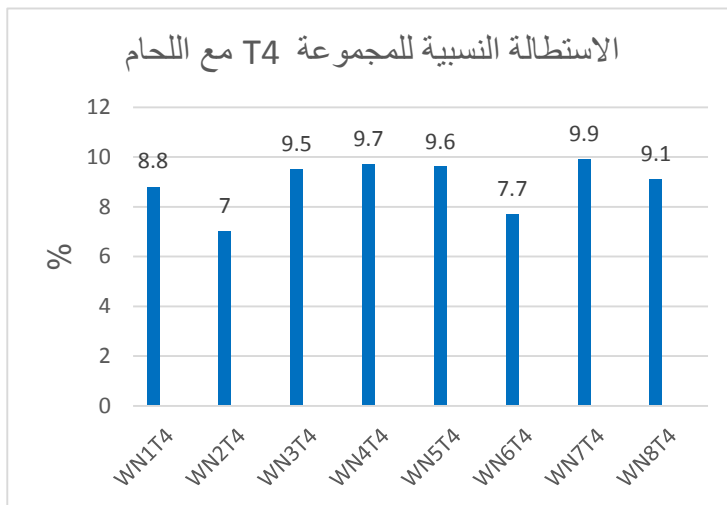
الشكل (11): مخطط مقارنة نتائج الاستطالة النسبية لعينات المجموعة T4 قبل تنفيذ اللحام



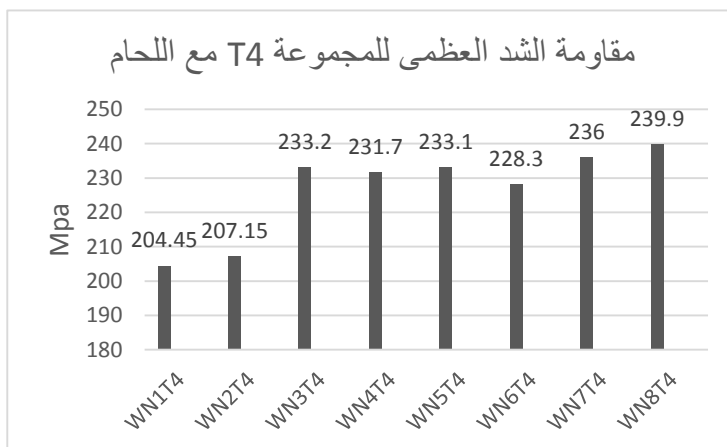
الشكل (12): مخطط مقارنة نتائج مقاومة الشد العظمي لعينات المجموعة T4 قبل تنفيذ اللحام

الجدول (14): نتائج اختبار مجموعة العينات المعالجة مسبقاً و الملحومة

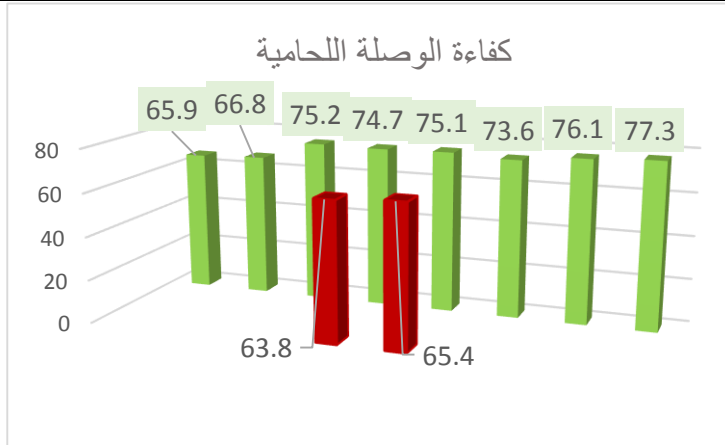
رقم العينة	بارامترات المحلولية		بارامترات التعتيق الطبيعي Days	بارامترات اللحام	مقاومة الشد الأعظمي Mpa	الاستطالة النسبية %
	الحرارة C°	زمن الإبقاء min				
WN1T4	500	30	7	0,04	204,45	8,8
WN2T4	500	30	15	0,19	207,15	7
WN3T4	500	60	7	0,19	233,2	9,5
WN4T4	500	60	15	0,04	231,7	9,7
WN5T4	550	30	7	0,19	233,1	9,6
WN6T4	550	30	15	0,04	228,3	7,7
WN7T4	550	60	7	0,04	236	9,9
WN8T4	550	60	15	0,19	239,9	9,1



الشكل (13): مخطط الاستطالة النسبية لعينات T4 بعد تنفيذ اللحام



الشكل (14): مخطط مقاومة الشد العظمى لعينات T4 بعد تنفيذ اللحام



الشكل (15): مخطط مقارنة كفاءة الوصلات اللحامية قبل المعالجة المسبقة وبعد تطبيقها

بعد الانتهاء من الاختبارات ومعرفة النتائج على أرض الواقع تبدأ هنا عملية التحليل لهذه النتائج بالاعتماد على طريقة تاغوتشي بحيث يتم ادخال النتائج إلى البرنامج لمعرفة ترتيب تأثير النتائج حسب الأهمية تنازلياً. يتم تحليل النتائج فقط للعينات المعالجة والملحومة فبعد ترتيب العينات يتم ادخال عمود بنتائج مقاومة الشد ومن ثم الاستطالة فيما بعد.

الجدول (15): ترتيب تأثير العوامل تنازلياً حسب الأهمية بالنسبة لمقاومة الشد

Larger is better

Level	Tw	soaktime	timeaging	pitch
1	46.80	46.76	47.09	47.03
2	47.39	47.43	47.10	47.16
Delta	0.60	0.66	0.00	0.12
Rank	2	1	4	3

الجدول (16): ترتيب تأثير العوامل تنازلياً حسب الأهمية بالنسبة للاستطالة

Larger is better

Level	Tw	soaktime	timeaging	pitch
1	18.77	18.29	19.50	19.07
2	19.12	19.60	18.39	18.82
Delta	0.35	1.30	1.11	0.25
Rank	3	1	2	4

سابعاً: مناقشة النتائج:

بعد اجراء العديد من الاختبارات تم التوصل للعديد من النتائج وقسمت لثلاثة أقسام وكان أبرزها:

نتائج عينات اللحام فقط:

- أدى اللحام لانخفاض الخواص الميكانيكية مقارنة بخواص السبيكة الأساس حيث يلاحظ بأن الاستطالة انخفضت لمقدار النصف من استطالة السبيكة الأساس.
- مع زيادة الخطوة تزداد مقاومة الشد للوصلة اللحامية على عكس الاستطالة فإنها تتناقص مع زيادة الخطوة لكن بشكل غير ملحوظ.
- كانت أعلى كفاءة للوصلة بمقدار 65,41%.

نتائج عينات المعالجة الحرارية فقط:

- مع زيادة درجة حرارة وزمن إبقاء المحلولية تزداد كل من مقاومة الشد والاستطالة النسبية
- مع ازدياد زمن التعتيق الطبيعي تنخفض الاستطالة
- تكون أعلى قيمة للاستطالة عند درجة حرارة محلولية 550°C وزمن إبقاء 1h وزمن تعتيق طبيعي 7d بقيمة 14,1%.
- تكون أدنى قيمة للاستطالة عند درجة حرارة محلولية 500°C وزمن إبقاء 30 min وزمن تعتيق 15d بقيمة 9,8%.

- تكون أعلى قيمة لمقاومة الشد عند درجة حرارة محلولية 550°C وزمن إبقاء 1h وزمن تعتيق طبيعي 15d بقيمة 236,4 Mpa.
- تكون أدنى قيمة لمقاومة الشد عند درجة حرارة محلولية 500°C وزمن إبقاء 30 min وزمن تعتيق 7d بقيمة 218,1 Mpa.

نتائج عينات المعالجة المسبقة واللحام معاً:

- تكون أعلى كفاءة للوصلة المعالجة مسبقاً 77,3% وأقل كفاءة 65,9% بحيث تبقى أكبر من كفاءة الوصلات اللحامية دون أي معالجة حرارية.
- يؤثر ازدياد الخطوة سلباً على الاستطالة
- تكون أعلى قيمة للاستطالة عند درجة حرارة 550°C وزمن 1h وزمن تعتيق 7d وخطوة 0,04 mm/rot بقيمة 9,9.
- تكون أدنى قيمة للاستطالة عند درجة حرارة 500°C وزمن إبقاء 15d وخطوة 0,19 mm/rot بقيمة 7% لكن مع ذلك تبقى أكبر من أعلى استطالة في عينات اللحام فقط.
- تكون أعلى قيمة لمقاومة الشد عند درجة حرارة 550°C وزمن 1h وزمن تعتيق 15d وخطوة 0,19 mm/rot بقيمة 239,9 Mpa.
- تكون أدنى قيمة لمقاومة الشد عند درجة حرارة 500°C وزمن 30 min وزمن تعتيق 7d وخطوة 0,04 mm/rot بقيمة 204,45 Mpa.

ثامناً: الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث تطبيق المعالجة الحرارية T_4 المؤلفة من (معالجة محلولية + تبريد بالماء البارد + تعتيق طبيعي) ثم اللحام على سبيكة ألومنيوم 6082 بسماكة 8mm ولوحظ بعد المقارنة ما بين نتائج اللحام فقط والمعالجة واللحام معاً بأن هذه المعالجة المسبقة تحسن بشكل كبير من الخواص المتدهورة نتيجة اللحام ويبدو ذلك واضحاً من قيم مقاومة الشد حيث تكون أقل كفاءة للوصلة اللحامية في حال تطبيق هذه المعالجة أعلى من أدنى كفاءة في حال اللحام فقط.

من الممكن اعتبار هذا البحث كمرجع للأبحاث المشابهة مع الانتباه لطبيعة كل مادة وبارامترات اللحام أيضاً ومن الممكن أيضاً التوسع بتطبيق معالجات حرارية مسبقة أخرى.

References : المراجع : تاسعاً

- [1] Krasnowski, K. (2014). Experimental study of FSW t-joints of EN-AW 6082-T6 and their behaviour under static loads. Arabian Journal for Science and Engineering, 39(12), [9083-9092](#)
- [2] Šibalic, N., & Vukčević, M. (2019). RESEARCH ON THE QUALITY OF THE WELDED JOINT OF ALUMINIUM ALLOY SHEET AA6082-T6 USING FSW, MIG AND TIG METHODS. Materials & Technologies/Materiali in Tehnologije, 53(5).
- [3] ASME Internationa.(1991). Heat Treating of Aluminum Alloys.ASME Handbook(vol.4, p. 841-879).
- [4] Atil, H., & Unver, Y. (2000). A different approach of experimental design: Taguchi method. Pakistan journal of biological sciences, 3(9), [1538-1540](#)
- [5] Al-Dwairi, A. F., Abdelall, E., & Rivero, I. (2020). Effect of Pre-welding Heat Treatment on the Mechanical Properties of Friction Stir Welded Al-4 wt.% Cu Alloys. Metallography, Microstructure, and Analysis, 9, [169-179](#).
- [6] Aydın, H., Bayram, A., Uğuz, A., & Akay, K. S. (2009). Tensile properties of friction stir welded joints of 2024 aluminum alloys in different heat-treated-state. Materials & Design, 30(6), [2211-2221](#).
- [7] Verma, S., Misra, J. P., & Gupta, M. (2019, July). Effect of preheating and water-cooling on the wear properties of FS welded AA6082 joint. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1240, No. 1, p. 012116). IOP Publishing.
- [8] Poongkundran, R., & Senthilkumar, K. (2017). Effect of preheating on microstructure and tensile properties of friction stir welded AA7075 aluminium alloy joints. Brazilian Archives of Biology and Technology, 59Poongkundran, R., & Senthilkumar, K. (2017). Effect of preheating on microstructure and tensile properties of friction stir welded AA7075 aluminium alloy joints. Brazilian Archives of Biology and Technology, 59
- [9] Al Najjar,N.A.(2021).The influence of microstructure variables of aluminium alloys on the strength of joint welded by the friction stir welding. [Dissertation].Homs university,approved(in Arabic).

[10] Al Assad, M., Al Massoud, T., & Al Najjar, A. (2021). Effect of the post-heat treatment on the welded joint properties by friction stir welding method for similar aluminum alloys-AA6082-.Journal of Homs university, 43(9), [37-64](#),approved(in Arabic).

[11] ASTM, Standard test methods for Tension Testing of metallic materials, E8-15a annual book of ASTM standards, American Society for Testing and Materials,Philadelphia.