تأثير عوامل لحام الخلط الاحتكاكي على كفاءة الربط لمنطقة الوصل لألواح من سبائك الالمنيوم ذات مقاومة الشد العالية (2024-T351,7075-T651)

قيس حازم اسماعيل (مدرس مساعد) د. وليد جلال علي (استاذ مساعد)
قسم الهندسة الميكانيكية/ كلية الهندسة / جامعة الموصل

الخلاصة

يتناول هذا البحث دراسة تأثير عوامل لحام الخلط الاحتكاكي مثل (سرعة اداة اللحام الدورانية وسرعة اللحام الخطية) على كفاءة الربط لمنطقة الوصل لألواح من سبائك الالمنيوم ذات مقاومة الشد العالية مثل سبيكة (2024-T351) وسبيكة (7075-T651) بسمك (6.1 mm) والتي تستخدم في صناعة الطائرات والتي لها قابلية ضعيفة للحام بطرق الحام الانصهاري كلحام القوس الكهربائي المحمي بغاز خامل (TIG,MIG) ولحام الليزر. وقد تم الحصول على وصلات لحام الخلط الاحتكاكي (FSW) بواسطة ماكنة تفريز تقليدية باستخدام سرعتين دورانية لأداة اللحام (900,1120) دورة/ دقيقة وثلاث سرع خطية للحام (28,40,56) ملم/ دقيقة ، ومن ثم تهيئة عينات اختبار مقاومة الشد القياسية واجراء اختبار الشد (Tensile Test) للوصلات الملحومة عند درجة حرارة الغرفة ومقارنتها مع مقاومة الشد للمعدن الاساس ومن ثم حساب كفاءة الربط . ان نتائج البحث تشير الى ان مقاومة الشد وكفاءة الربط للوصلات الملحومة ولكلتا السبيكتين تقل بزيادة السرعة الدورانية لأداة اللحام وتقليل السرعة الخطية للحام (للسرع التي تم اللحام بها) مع تحسن في المطيلية ، وان افضل كفاءة للربط لملحومات سبيكة (2024-T351) كانت (86.41%) ولملحومات سبيكة (7075-T651) كانت (73.5%) عند السرعة الدورانية (900) دورة/ دقيقة لأداة اللحام والسرعة الخطية (56) ملم/ دقيقة للحام .

Effect of Friction Stir Welding Parameters on the Joint Efficiency of the Weldments for High Strength Aluminum Alloys (2024-T351,7075-T651)

Qays Hazim Ismael **Dr.Waleed Jalal Ali**
Dept. of Mechanical Engineering/ College of Engineering / Mosul University

Abstract

The aim of the present research was to study the effect of friction stir welding parameters such as (tool rotation and tool transverse speeds) on the joint efficiency of (6.1 mm) thick weldments of aluminum alloys (7075-T651,2024-T351) , which are used in aircraft industries and are poorly weldable by fusion welding such as (TIG,MIG and Laser) welding . Friction stir welding welds were carried out on a traditional milling machine .Tow tool rotation speeds (900 and 1120 rpm) and three travel speeds (28,40 and 56 mm/min) were selected for the friction stir welding of each alloy. The strength of the weldments has been investigated using the tensile test with standard specimens at room temperature. It was observed that the strength and joint efficiency of the weldments decreased with increasing the tool rotation speed and decreasing travel speed with improvement in ductility. The best weldments joint efficiency of the (2024-T351) alloy is (86.41%) and for (7075-T651) is (73.5%) these were obtained at tool rotation speed (900 rpm) and travel speed (56 mm/min).

Key words: Friction Stir Welding of High strength Aluminum Alloys, Joint Efficiency.

أستلم: 3 – 11 - 2013 قبل: 12 – 2 - 2014

1. المقدمة :

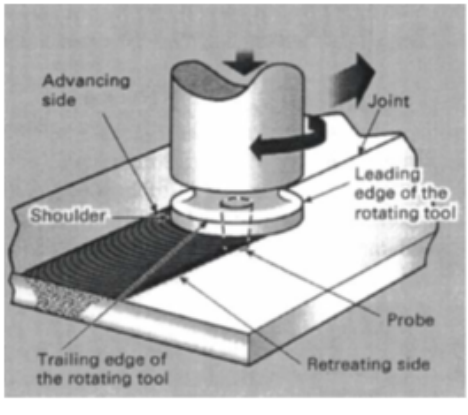
يعتبر لحام الخلط الاحتكاكي (Friction Stir Welding) والذي يسمى في بعض المصادر باللحام الاحتكاكي المزجي تقنية جديدة للحام المواد في الحالة الصلبة (Solid State Welding) وبدون صهر المعدن، اي ان المعدن لا يصل الى درجة الانصهار اثناء عملية اللحام . تم اكتشاف هذه التقنية في عام (1991) في معهد اللحام / جامعة كامبردج في المملكة المتحدة (TWI) . وعادة تستخدم هذه الطريقة في التطبيقات التي تتطلب عدم الحصول تغير في خصائص المعدن قدر الامكان اثناء عملية اللحام [1,2] .

استخدمت هذه التقنية في البداية في لحام سبائك الالمنيوم ثم بدأت بالانتشار في السنوات القليلة الماضية لتستخدم في لحام معادن اخرى ، وهي تقنية ربط جيدة وتعد من الطرائق المهمة ولاسيما للسبائك الغير قابلة للحام بطرائق اللحام التقليدية وكذلك التي لها قابلية ضعيفة للحام بطرق اللحام الانصهاري (Fusion Welding) وخاصة السبائك ذات مقاومة الشد العالية مثل سبائك سلسلتي (2xxx,7xxx) [1,3,4] .

إن سلسلة سبائك الألمنيوم – نحاس (2xxx) وسلسلة سبائك الألمنيوم – زنك (7xxx) وهي من السبائك ذات مقاومة الشد العالية (High Strength Alloys) تعد من السبائك الرئيسة المستخدمة في صناعة الطائرات وخاصة سبيكتي (2024-T3) وسبيكة (7075-T6) . حيث تستخدم سبائك سلسلة (2xxx) في صناعة السطح السفلي لجناح الطائرة وفي هياكل الطائرات التجارية . أما سبائك سلسلة (7xxx) فإنها تستخدم في التطبيقات التي تتطلب مقاومة شد عالية مثل السطح العلوي لجناح الطائرات ، كذلك تستخدم سبائك كلا السلسلتين في تطبيقات صناعية أخرى مثل صناعة البراغي (Bolts) المستخدمة في البناء [5,6] .

ان اهم مشاكل اللحام الانصهاري لسبيكتي (2024) و (7075) يعود الى حدوث انخفاض في مقاومة الشد لتلك السبائك بعد اجراء عملية اللحام بسبب زيادة نمو الخلايا (Grains growth) نتيجة كمية الحرارة العالية الداخلة الى منطقة اللحام مما يؤدي كذلك الى انخفاض في قيمة الصلادة وحدوث مجموعة من التغييرات الميتالورجية في المنطقة المتأثرة بالحرارة (HAZ) خلال وبعد عملية اللحام وحدوث تصدعات في الملحومات مثل تصدعات التصلب (Solidification cracks) بالإضافة الى حدوث تشققات دقيقة جدا (Micro-fissuring) في الجزء المنصهر من المنطقة المتأثرة بالحرارة [7,8] .

ينتج لحام الخلط الاحتكاكي ملحومات باستخدام أداة لحام غير مستهلكة دوارة تستخدم لتليين (Soften) القطعة المراد لحامها من خلال الحرارة الناتجة عن طريق الاحتكاك والتشوه اللدن (Plastic Deformation) مما يسمح لتلك الأداة بعمل خلط ومزج (Stir) لكل من مادتي القطعتين المراد لحامها [9] .



شكل (1) : مبدا لحام الخلط الاحتكاكى [10]

إن عملية الربط بهذه الطريقة تتم عن طريق استخدام أداة لحام دوارة غير قابلة للانصهار ذات شكل اسطواني تدعى المسند (Shoulder) تحتوي في نهايتها السفلى على نتوء للغرز (Probe or Pin) تغرز بصورة تدريجية في منطقة تلامس الصفائح المراد لحامها وتستمر عملية الغرز لحين الحصول على تلامس تام بين الـ سطح اسفلي لمسند أداة اللحام والسطح العلوي للصفائح المراد لحامها [3] . وكما مبين في شكل (1).

إن الحرارة المتولدة في القطع المراد لحامها ناتجة عن الاحتكاك الحاصل بين نتوء الغرز والمسند لأداة اللحام من جهة والقطع المراد لحامها من جهة أخرى ، وكذلك ناتجة عن التشوه اللدن الحاصل في القطع المراد لحامها وتعمل هذه الحرارة على تليين المعدن حول نتوء الغرز وبسبب دوران الأداة فإنها تعمل على تحريك المعدن اللين من أمام نتوء الغرز إلى خلفه مما يؤدي إلى مليء الفراغ أو الحفرة التي كونتها أداة اللحام سابقا . وبعد اكتمال عملية الغرز والتسخين يتم تحريك الصفائح حركة خطية نسبة الى الأداة الدوارة وهذا يؤدي إلى إتمام عملية الربط على طول خط اللحام [3,4] .

ان من اهم عوامل لحام الخلط الاحتكاكي هي التغير في السرعة الدورانية لأداة اللحام (Tool rotation speed) والسرعة الخطية للحام (Transverse speed) . تعمل حركة اداة اللحام الدورانية على خلط ومزج المعدن حول نتوء

الغرز اما الحركة الخطية وهي حركة انتقالية للمعدن نسبة الى اداة اللحام فإنها تعمل على تحريك المعدن الممزوج من امام الى خلف نتوء الغرز واتمام عملية اللحام [9,11] . تولد حركة أداة اللحام الدورانية العالية حرارة عالية نتيجة الاحتكاك مع المعدن وبالتالي تعمل على خلط ومزج اكبر للمعدن .وللسرعة الدورانية لأداة اللحام تأثير على درجة حرارة اللحام حيث انه كلما زادت السرعة الدورانية لأداة اللحام أدى ذلك إلى زيادة درجة الحرارة القصوى لمنطقة اللحام [12,13] .

كذلك تؤثر السرعة الخطية للحام على كمية الحرارة الداخلة لمنطقة اللحام علىطول خط اللحام ولن تلك الحرارة تقل عند زيادة السرعة الخطية [1] .

تعرف كفاءة الربط (Joint Efficiency) بانها النسبة بين مقاومة الشد العظمى (Tensile Strength) او مقاومة الخضوع (Yield Strength) للملحومات ومقاومة الشد او الخضوع للمعدن الاساس [14, 15,16] .

قام الباحث (Mohammed. M mulapear,2009) [1] بدراسة عملية لإيجاد كفاءة الوصل لملحومات لألواح من سبيكة الالمنيوم (7075-T6) ملحومة تناكبيا باستخدام ثلاث سرع دورانية (280,580 and 960 rpm) ولكل منها خمس سرع خطية (36,76,102,146 and 216 mm/min) ووجد ان اعلى كفاءة للوصل تم الحصول عليها (85%) عند السرع (580 rpm,36 mm/min) .

كما قام الباحثون (ManoJ kumar Shivaraj et.al,2010) [17] بإيجاد كفاءة الوصل لصفائح من سبيكتي (7075-T6) , (2024-T4) بسمك (3mm) ملحومة تناكبيا بالخلط الاحتكاكي باستخدام سرعة دورانية (1040 rpm) وسرعة خطية (104 mm/min) ووجدوا ان كفاءة الوصل لملحومات سبيكة (2024-T4) كانت (60%) في حين ان لملحومات سبيكة (7075-T6) كانت (75%) .

ان الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير عوامل لحام الخلط الاحتكاكي (السرعة الدورانية لأداة اللحام والسرعة الخطية للحام) على كفاءة الربط لمنطقة الوصل لألواح من سبائك الالمنيوم القابلة للمعاملة الحرارية والتي تمتلك مقاومة شد عالية ولها قابلية ضعيفة للحام بطرائق اللحام التقليدية كسبيكتي (2024-T351,7075-T651)

2. الجانب العملي :

استخدم في هذا البحث نوعين من سبائك الالمنيوم والتي لها قابلية ضعيفة للحام بطرق اللحام الانصهاري وهي سبيكتي (2024-T351) و (7075-T651) بسمك (6.1 mm) والتي تم تجهيزها من خارج القطر وكلتا السبيكتين معاملة حراريا . فبالنسبة لسبيكة (2024-T351) تتضمن المعاملة الحرارية لها المعالجة المحلولية بدرجة حرارة (495±5 ºC) يليها اخماد بالماء الى درجة حرارة الغرفة (Solution heat treated +Water quench) يلي ذلك تشغيل على البارد (Cold work) بطريقة الدرفلة اوالسحب والمط (Roller or stretcher) وبعده تتم عملية التعتيق الطبيعي (Natural aged) بدرجة حرارة الغرفة [18,19]

واما سبيكة (7075-T651) تتضمن المعاملة الحرارية لها المعالجة المحلولية بدرجة حرارة (460±10 ºC) يليها اخماد بالماء الى درجة حرارة الغرفة يلي تلك المرحلة اجراء عملية التعتيق الصناعي (Artificially aged) بدرجة حرارة (135±5 ºC) لمدة (12)ساعة [18] .

اما الرمز (T_51) فيمثل عملية ازالة الاجهادات بطريقة المط (Stress relieved by stretching) بنسبة (1-3 %) [5,18] .

تم اجراء فحص المكونات للسبائك (Chemical Composition) في المعهد المتخصص للصناعات الهندسية / بغداد ، والجدول (1) يبين التحليل الكيميائي لنسب المكونات ومقارنتها مع قيم النسب القياسية المعتمدة من قبل جمعية الالمنيوم الاوربية ((European Aluminum Association , (EAA)) .

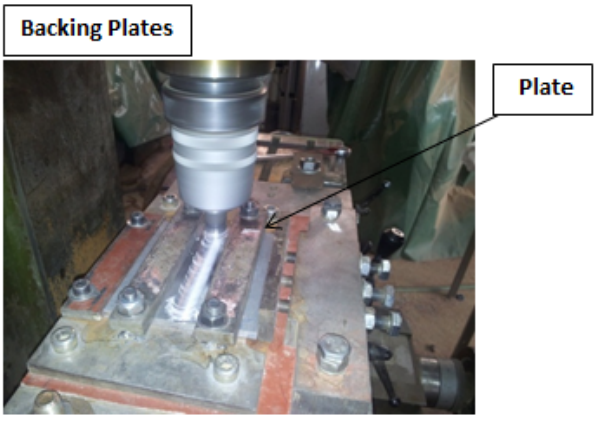
جدول (1) : التحليل الكيميائي للمعدن الاساس (wt.%)

Alloy	Element	Cu	Zn	Mg	Mn	Fe	Si	Cr	Ti	Al	Another
2024-T351	According to(EAA)	3.8-4.9	≤0.25	1.2-1.8	0.3-0.9	≤0.5	≤ 0.5	≤0.1	≤01.5	Rem	≤01.5
	Measured	4.41	0.0269	1.64	0.462	0.28	0.102	0.006	0.067	Rem	0.0229
7075-T651	According to(EAA	1.2-2.0	5.1-6.1	2.1-2.9	≤ 0.3	≤ 0.5	≤ 0.4	0.18-0.28	≤ 0.2	Rem	≤ 0.15
	Measured	1.56	6.22	2.3	0.024	0.25	0.04	0.176	0.0604	Rem	0.0233

2-1.عملية لحام الخلط الاحتكاكي :

لإجراء عملية لحام الخلط الاحتكاكي تم استخدام ماكنة تفريز تقليدية نوع (GATE) وكما مبينة في شكل (2) وباستخدام سرعتين دورانية لأداة اللحام (900,1120 rpm) وباتجاه عقرب الساعة (C.W.) وثلاث سرع خطية للحام لكل سرعة دورانية وهي (28,40,56 mm/min) .

ولغرض دراسة تاثير عوامل لحام الخلط الاحتكاكي على كفاءة الربط تم تحضير لوحين من كل سبيكة بالابعاد (130*55*6.1 mm) بشكل متناكب (Butt Joint) مثبتة بقوة على قطع ساندة (Backing Plate) مصنعة محليا لكي يتم لحامها بحيث يكون خط اللحام عمودي على اتجاه الدرفلة (Rolling Direction) وكما مبين في شكل (3) .



شكل (3) : اداة تثبيت القطع المراد لحامها بطريقة لحام الخلط الاحتكاكي

شكل (2) : ماكنة تفريز نوع (GATE) المستخدمة في لحام الخلط الاحتكاكي

تم استخدام اداة لحام مصنعة من صلب السرع العالية (HSS) ذات مسند بقطر (20mm) ونتوء غرز مخروطي مسنن (اسنان يسارية) ذي خطوة (1.25 mm) بقطر (8mm) عند القاعدة و (4.7mm) عند النهاية وطوله (5.9mm) وكما موضح في شكل (4) .

شكل (4) : اداة لحام الخلط الاحتكاكي ذات نتوء الغرز المخروطي المسنن

استخدمت زاوية ميل لأداة اللحام (Tilt angle) مقدارها (3º) عن المحور العمودي لزيادة الضغط على المعدن اللدن خلف اداة اللحام وبالتالي الحصول على جودة للحام، ومن الجدير بالذكر ان القيمة المثلى لزاوية ميلان الاداة تكون بحدود (2º-4º) [4] ، وفي جميع عمليات اللحام تم تثبيت قيمة الضغط العمودي المسلط على منطقة اللحام وذلك عن طريق تثبيت عمق تغلغل مسند اداة اللحام في منطقة الوصل . والشكل (5) يبين وصلات لحام لكلتا السبيكتين التي تم الحصول عليها .

شكل (5) : وصلات لحام الخلط الاحتكاكي لسبيكتي (2024-T351,7075-T651)

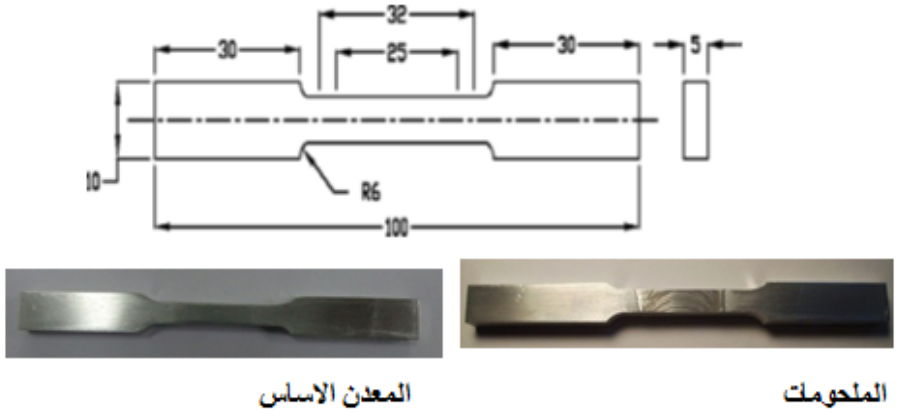
2-2 . اختبار الشد:

تم اجراء اختبار الشد للمعدن الاساس والملحومات ولكلتا السبيكتين باتجاه عمودي على خط اللحام وبدرجة حرارة الغرفة باستخدام جهاز اختبار الشد متعدد الاغراض نوع : (Type : SANS ,Model : WAW-1000) والمبين في شكل (6) .

شكل (6): جهاز اختبار مقاومة الشد

وكما يبين الشكل (7) ابعاد عينة اختبار الشد القياسية (الابعاد بالملمتر) التي تم استخدامها وطبقا للمواصفة (ASTM E8M-04) .

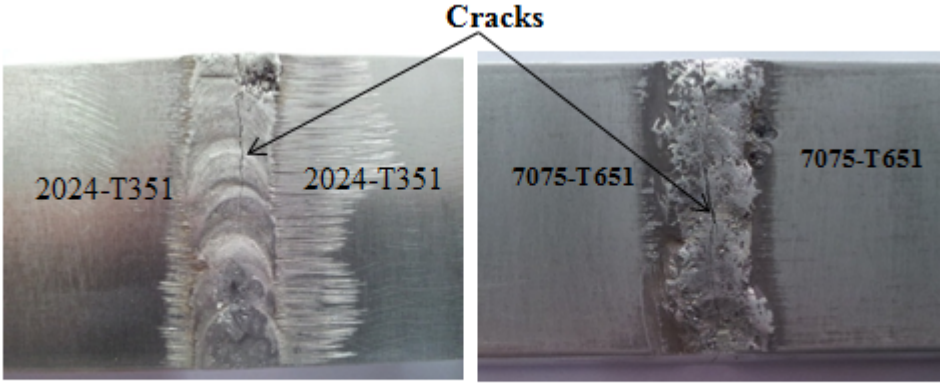
ان جميع الاختبارات تمت بسرعة ثابتة (Strain Rate) مقدارها (1.4 mm/min) وتم اخذ معدل ثلاث قراءات ولكل حالة .



شكل (7) : شكل وابعاد عينة فحص لشد للمعدن الاساس والملحومات

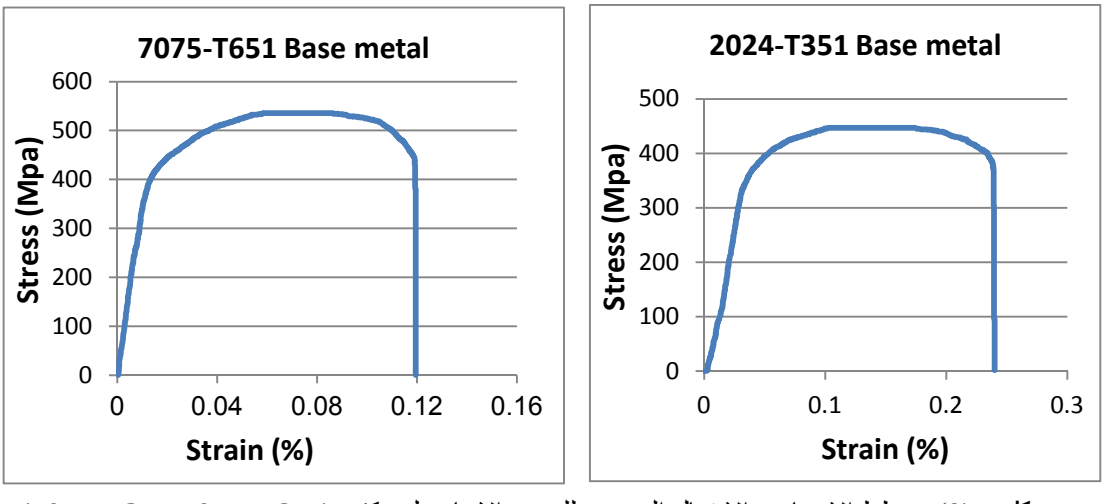
3. النتائج والمناقشة :

تم لحام كلتا السبيكتين (2024-T351,7075-T651) وبنجاح بطريقة لحام الخلط الاحتكاكي **وباستخدام السرع** الدورانية والخطية المحددة في حين **ان** لحام القوس الكهربائي باستخدام غاز خامل (TIG) ولنفس السبيكتين والذي تم **انجازه في شركة الكندي العامة فشل وان منطقة اللحام كانت تعاني من التصدعات** (Cracks) والتشوهات وكما مبين في **شكل** (8) .



شكل (8) : لحام القوس الكهربائي (TIG) لسبيكتي (2024-T351,7075-T651)

بعد اجراء اختبار الشد للمعدن الاساس ولكلتا السبيكتين تم الحصول على مخطط (الاجهاد- الانفعال) الهندسي للمعدن الاساس وكما مبين في شكل (9) .



شكل : (9) مخطط الاجهاد – الانفعال الهندسي للمعدن الاساس لسبيكتي (2024-T351,7075-T651)

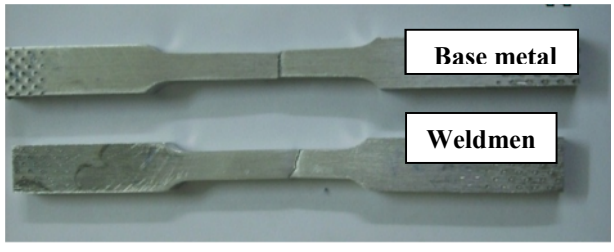
ان مقاومة الشد العلية للمعدن الاساس لسبيكتي (2024-T351,7075-T651) يعزى الى ترسب مركب (Al_2CuMg) في سبيكة (2024-T351) **ومركب** ($MgZn_2$) في سبيكة (7075-T651) خلال عملية التصليد بالترسيب وهما من المركبات المترابطة (Coherent) [7] .

وبصورة عامة فان كل من جهد الخضوع والقيمة العظمى لجهد الشد في الملحومات تقل مقارنة بالمعدن الاساس ولكلتا السبيكتين ويرجع السبب في ذلك الى حدوث عملية الخشونة والاذابة واعادة الترسيب للدقائق المترسبة (Precipitates) خلال عمليات لحام الخلط الاحتكاكي [20] .

ان خواص الشد وموقع الكسر للملحومات يعتمد اساسا على حالة المواد المترسبة وتوزيع الصلادة في منطقة الوصل ، ويلاحظ من نتائج اختبار الشد في حالة خلو منطقة الوصل من العيوب بان التخصر والكسر يحدث خارج منطقة مركز منطقة اللحام اذ ان جهد الشد العالي لمركز منطقة اللحام يرجع الى ان الخلايا في هذه المنطقة اصبح فيها اعادة **تبلور واعادة** تنعيم وكذلك التوزيع المنتظم للدقائق المترسبة الناعمة والناتجة اصلا من عمليات التصليد بالترسيب للمعدن الاساس والتي تعطي خصائص ميكانيكية جيدة [13].

والشكل (10) يبين موقع الكسر للمعدن الاساس والملحومات يوضح موقع الكسر للمعدن الاساس سبيكة (2024-T351) والملحومات بعد اجراء اختبار الشد. حيث ان موقع الكسر للمعدن الاساس يكون تقريبا في منتصف العينة بينما موقع الكسر للملحومات يكون خارج مركز منطقة اللحام .

تم الحصول على نتائج اختبار الشد للمعن الاساس والملحومات ولعوامل مختلفة من سرع دورانية وخطية ولكلتا السبيكتين وكما مبين في جدول (2) .



شكل (10): عينات فحص الشد للمعدن الاساس والوصلات الملحومة لسبيكة (2024-T351)

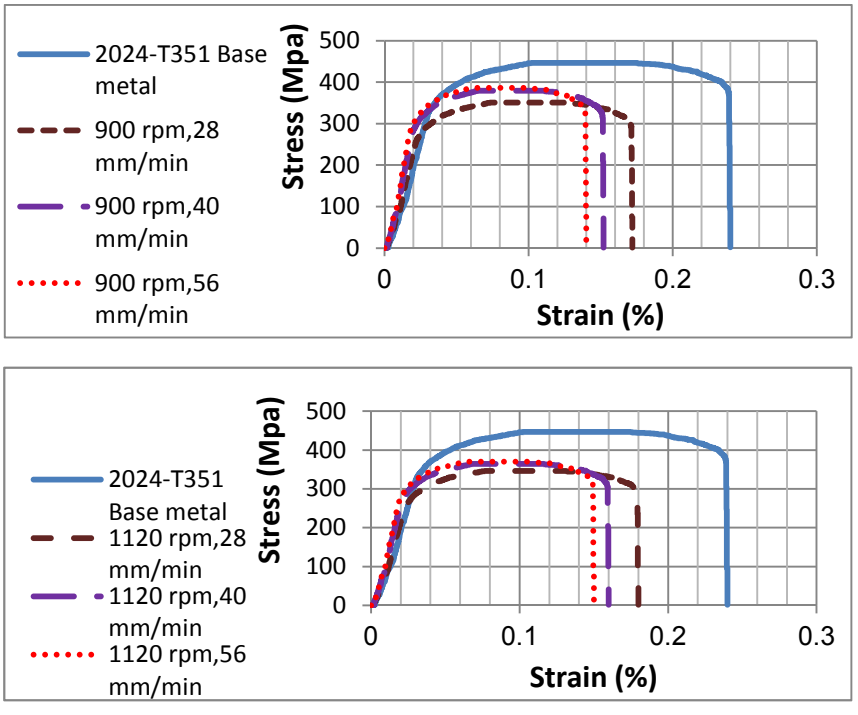
جدول (2) : نتائج اختبار للشد للمعدن الاساس والملحومات لسبيكتي (2024,7075)

Tool rotation speed (rpm)	Tool travel speed (mm/min)	Mechanical properties of FSW welded alloys				
		0.2% Proof stress (Mpa)	Ultimate stress (Mpa)	Elongation (mm)	Ductility (%)	Joint efficiency (%)
BM 2024-T351	Measured	350	446.744	6.0	24.0	_____
	According EAA	340	475	_____	18.0	_____
900	28	270	350.694	4.3	17.2	78.5
	40	300	379.553	3.8	15.2	84.96
	56	310	386.067	3.5	14.0	86.418
1120	28	280	346.226	4.5	18	77.5
	40	292	364.185	4.0	16	81.52
	56	295	369.904	3.75	15	82.80
BM 7075-T651	Measured	420	534.391	3	12	_____
	According EAA	460	530-570	_____	7-10	_____
900	28	285	358.042	2.0	8.0	67.0
	40	303	374.287	1.8	7.2	70.04
	56	320	392.778	1.5	6.0	73.5
1120	28	255	328.65	2.75	11	61.5
	40	287	368.628	2.5	10	68.98
	56	298	380.432	2.0	8	71.19

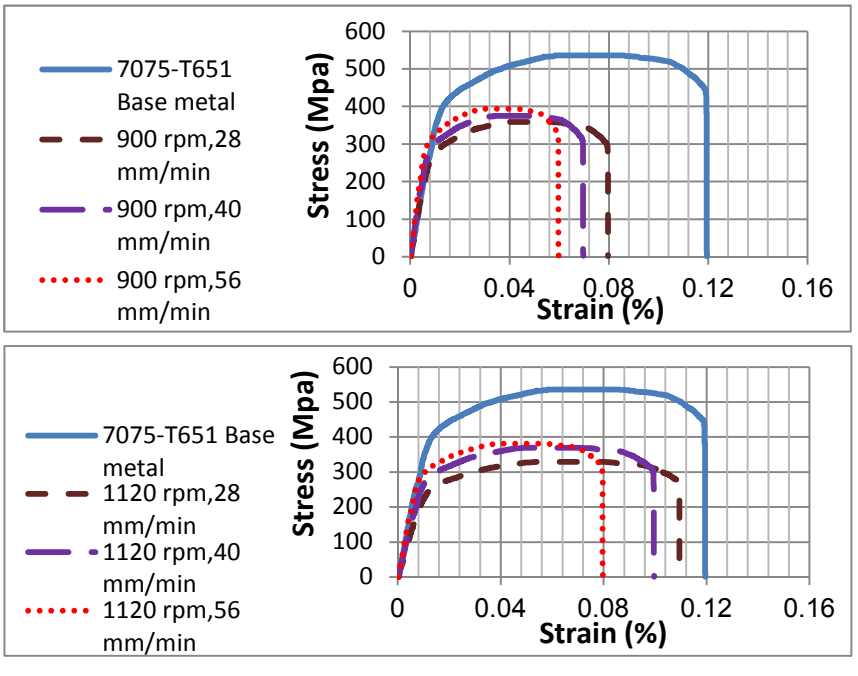
يتبين من نتائج اختبار الشد التي تم الحصول عليها ان مقاومة الشد للملحومات ولكلتا السبيكتين تزداد بزيادة السرعة الخطية للحام عند ثبوت السرعة الدورانية لأداة اللحام وينتج عنه تحسن في كفاءة الربط في حين ان المطيلية (Ductility) قلت . في حين ان زيادة السرعة الدورانية من (900 rpm) الى (1120 rpm) ادى الى انخفاض بكفاءة الربط لملحومات كلا السبيكتين .

اذ ان اعلى كفاءة للوصل تم الحصول عليها لملحومات سبيكة (2024-T351) كانت (86.418%) بينما اعلى كفاءة للوصل لملحومات سبيكة (7075-T651) كانت (73.5%) عند السرع (900 rpm,56 mm/min) ويعزى السبب الى ان الخواص الميكانيكية لسبائك الالمنيوم القابلة للمعاملة الحرارية تعتمد على مقدار ما تعرض له المعدن من حرارة (Thermal History) اثناء عملية لحام الخلط الاحتكاكي حيث ان زيادة كمية الحرارة الداخلة الى منطقة اللحلم قد تؤدي الى حدوث فرط التعتيق (Over-aged) واذابة (Dissolution) وخشونة (Coarsening) لبعض الدقائق المترسبة من طوري ($MgZn_2$) و (Al_2CuMg) ولكلتا السبيكتين مما يؤدي الى انخفاض مقاومة الشد للملحومات وخاصة في المنطقة المتأثرة بالحرارة (HAZ) لأنها الاضعف.

الاشكال التالية تبين تأثير السرعة الدورانية والخطية في مقاومة الشد للملحومات ومقارنتها بالمعدن الاساس لكلتا السبيكتين .

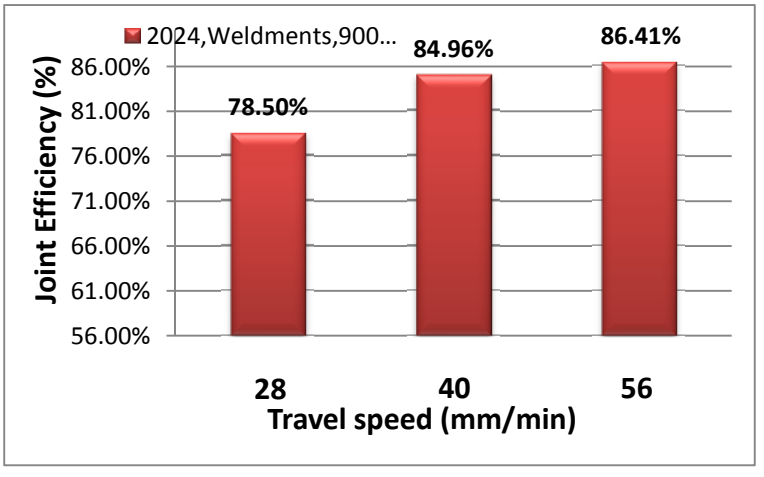


شكل (11) : مخطط مقارنة الاجهاد- الانفعال للمعدن الاساس والملحومات لسبيكة (2024-T351) عند السرعة الدورانية (900,1120 rpm) وسرع خطية (28,40,56 mm/min)

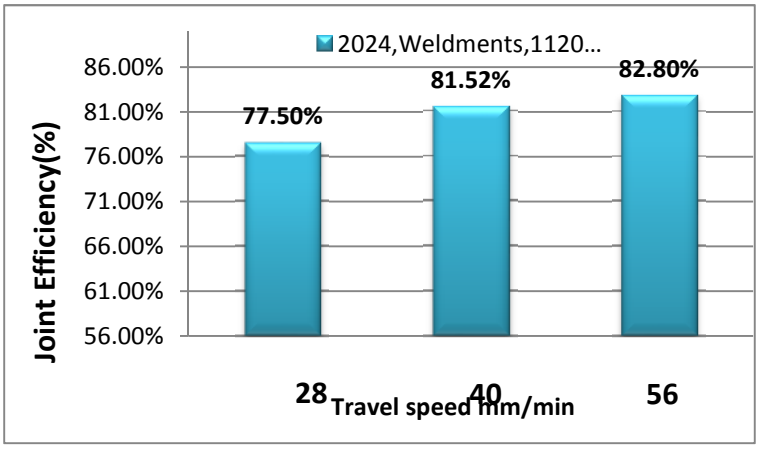


شكل (12) : مخطط مقارنة الاجهاد- الانفعال للمعدن الاساس والملحومات لسبيكة (7075-T651) **عند السرعة** الدورانية (900,11209 rpm) وسرع خطية (28,40,56 mm/min)

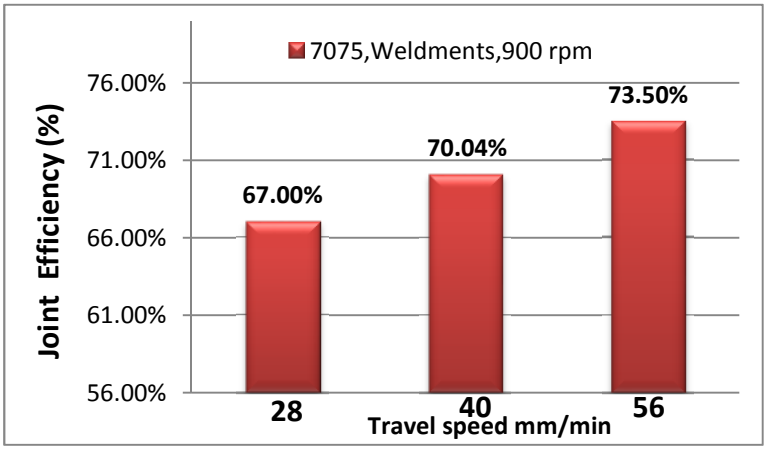
كما تبين الاشكال التالية تأثير السرعة الدورانية لأداة اللحام والسرعة الخطية للحام على كفاءة الربط لمنطقة الوصل ولكلتا السبيكتين .



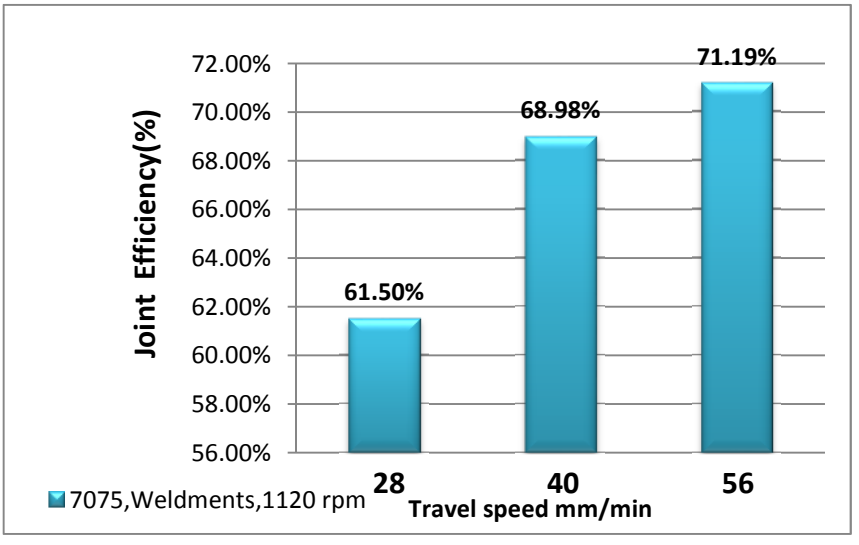
شكل (13) : تأثير السرعة الخطية في كفاءة الوصل لملحومات سبيكة (2024-T351) **عند السرعة** الدورانية (900 rpm) سرع خطية (28,40,56 mm/min)



شكل (14) : تأثير السرعة الخطية في كفاءة الوصل لملحومات سبيكة (2024-T351) عند السرعة الدورانية (1120 rpm) وسرع خطية(28,40,56 mm/min)



شكل (15) : تأثير السرعة الخطية في كفاءة الوصل لملحومات سبيكة (7075-T651) عند السرعة الدورانية (900 rpm) وسرع خطية(28,40,56 mm/min)



شكل (16) : تأثير السرعة الخطية في كفاءة الوصل لملحومات سبيكة (7075-T651) عند السرعة الدورانية (1120 rpm) وسرع خطية(28,40,56 mm/min)

4. الاستنتاجات :

من خلال هذا البحث تم استنتاج ما يلي :

1. امكانية لحام سبائك الالمنيوم ذات مقاومة الشد العالية (2024-T351،7075-T651) بطريقة لحام الخلط الاحتكاكي(Friction Stir Welding) والتي يصعب لحامها بطرق اللحام التقليدية والحصول على ملحومات جيدة خالية من العيوب الموجودة في اللحام الانصهاري

2. ان السرعة الدورانية لأداة اللحام والسرعة الخطية للحام لهما تأثير مباشر على خصائص الشد وكفاءة الربط للملحومات ولكلتا السبيكتين .

3 . زيادة السرعة الدورانية لأداة اللحام وتقليل السرعة الخطية للحام (للسرع التي تم اللحام بها) ادى الى زيادة كمية الحرارة المتولدة اثناء لحام الخلط الاحتكاكي مما ادى الى انخفاض مقاومة للشد وكفاءة الربط مع تحسن في المطيلية للوصلات الملحومة .

4. افضل قيم لكفاءة الربط لمنطقة الوصل لملحومات سبيكة (2024-T351) كانت (86.41%) ولملحومات سبيكة (7075-T651) كانت (73.5%) تم الحصول عليها عند السرعة الدورانية (900 rpm) لأداة اللحام والسرعة الخطية (56 mm/min) للحام .

المراجع

1. Mohammed M.Mulapeer,"Metallurgical and Mechanical Properties for Friction Stir Welding Aluminum Alloys [AA 2011,AA 7020,AA 7075] ,Degree of Doctor ,University of Salahaddin-Erbil,October 2009.

2. R.R.Ambriz and V.Mayagoitia, "Welding of Aluminum Alloys ", Institute Politechnico,C.P.02250,Azcapotzalco,DF,Mexico,2010.

3. Nawal Abd-allateef and Ali mizhir," Friction Stir Welding of Porous Al-Si alloy ", Journal of Engineering and Technology,Vol.28,No.6,2010.

4. Rajiv S. Mishra, Murray W. Mahoney, "Friction Stir Welding and Processing", Rockwell Scientific Company, copyright 2007 ASM International,DOI:10.1361/fswp2007.

5. F.C.Campbell,"Manufacturing Technology for Aerospace Structure Materials ",Elsevier Ltd,UK,2006,ISBN-13:978-1-85-617495-4.

6. Randolph Kissell," Aluminum and its Alloys ",TGB Partnership, Hillsborough, North Carolina.
7. Hakem.Maamar et.al,"Heat Treatment and Welding Effects on Mechanical Properties and Microstructure Evolution of 2024 and 7075 Aluminum Alloys ",Metal,13-15.5.2008,Hradec and Moravici, 2008.
8 .Balasubramanian et.al," Effect of Post weld Aging Treatment on Fatigue Behavior of Pulsed Current Welded AA7075 Aluminum Alloy Joints " , Journal of Materials Engineering and Performance, 224—Volume 17(2) April 2008 .
9. Daniela Lohwasser and Zhan Chen,"Friction Stir Welding from Basics to Application", Wood head Publishing Limited, Abington Hall, Great Abington, Cambridge CB21 6AH,UK,2010.
10.L.Fratini and S.Pasta ,"Fatigue Resistance of AA2024-T4 Friction Stir Welding Joints: Influence of process Parameters ",SID,Vol.1,no.4,pp 245-252, 2005.
11.Haitham Kassim Mohammed," A comparative Study Between Friction Stir Welding and Metal Inert Gas Welding of 2024-T4 Aluminum Alloys " ,ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences,Vol.6,No,11, November 2011.
12.Saad Ahmed Khodir and Shibayanagi Toshita, "Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Welding Similar and dissimilar Joints of Al and Mg alloys", JWRI,Vol.36,No.1,June 2007.
13.S.Rajakumar et.al.,"Influence of Friction Stir Welding process and tool Parameters on Strength Properties of AA7075-T6 Aluminum alloy joints", Materials and Design Journal 32(2011),535-544,Augest 2010.
14. T.Sakthivel et.al ," Effect of Welding Speed on Microstructure and Mechanical Properties of Friction-stir-welded Aluminum", Springer-Verlag London Limited,2008.
15.A Loureiro et.al, "Friction Stir Welding of Automotive Aluminum Alloys ", Department of Mechanical Engineering , University of Coimbra, Portugal.
16. V.Balasubramanian, "Effect of Pulsed Current Welding on Mechanical Properties of High Strength Aluminum Alloys ",Int J Adv Manuf Technol (2008)36:254-262,Springer-Verlag London Limited,2006.
17. Manoj Kumar Shiva raj et.al ,"Friction Stir Welding on Aluminum Alloys AA 2024-T4 and AA7075-T6", 2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology, Volume 5,Chennai India , 2010.
18. E. A. Brandes and G. B. Brook," Smithells Light Metals Handbook ", Butterworth-Heinemann , Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 225 Wildwood, Avenue, Woburn, MA 01801-2041, A division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd, OXFORD BOSTON, ISBN : 0 7506 3625 4, First published 1998 .
19. G.Raghu Babu et.al, "An Experimental Study on the Welding Parameters on Mechanical and Microstructural Properties of AA6082-T6 Friction Stir Welded Butt Joints", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol.3,No.5,ISSN:1819-6608,October 2008.
20. Report #:ANM-112N-05-06, Terry Khaled, "An Outsider Looks at Friction StirWelding", Federal Aviation Administration,3960 Paramount Boulevard, Lakewood, CA 90712, July 2005.

تم اجراء البحث في كلية ألهندسة = جامعة ألموصل