

دراسة قابلية لحام خليطة الألمنيوم (AL 5056)

غير القابلة للمعالجة الحرارية باستخدام

اختبار هولد كروفت

الباحث: م. حسام برهوم

مركز الدراسات والبحوث العلمية

الملخص:

تعرض هذه المقالة نتائج اختبار قابلية لحام خليطة الألمنيوم غير القابلة للمعالجة الحرارية AL5056 ، التي تدخل في كثير من التطبيقات الصناعية والهندسية الهامة. جرى تنفيذ هذا البحث في مخبر اللحام التابع لقسم الميكانيك في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا في دمشق. اعتمد في هذه المقالة على اختبار هولدكروفت HOULDCROFT ، لتقييم حساسية المعدن الأساس، وتأثير نوع معدن الملء المستخدم، وطريقة اللحام على هذه الحساسية. استخدم من أجل ذلك معدني الملء ER4043 و ER5356. تم تنفيذ الإختبار باستخدام طريقتي اللحام (TIG) Tungsten Inner Gas و Cold Metal Transfer (CMT).

أظهرت نتائج اختبار هولدكروفت أن حساسية الخليطة (A15056) للتشققات على الساخن باستخدام طريقة الـ TIG تكون أفضل (أقل) ما يمكن مع معدن الملاء 5356 (A=5.3%). لوحظ تزايد حساسية الخليطة عند اللحام بطريقة الـ CMT مع ازدياد تيار اللحام، وتم الحصول على أفضل النتائج باستخدام معدن الملاء ER5356 وطريقة الـ CMT.

كلمات مفتاحية:

Al5056 ، قابلية اللحام ، اختبار Houldcroft ، لحام TIG ، لحام CMT.

Study of the weldability of Non-heat treatable AL5056 by Hould Croft Test

Abstract:

This article presents results of the weldability test of Non-heat treatment aluminum alloy (AL5056) ,which used often in a lot of important manufacturing and engineering applications. The research was conducted at welding laboratory of Higher Institute for applied sciences and technology in Damascus. In this article, Houldcroft (fishbone) test was used to evaluate the susceptibility of the base metal to the hot cracking, and influence of filler wire and welding machine selection on this susceptibility. It was used for that two types of filler metal: ER4043 and ER5356. The test was executed by using two welding machine TIG and CMT. The results showed that the best susceptibility was achieved for TIG machine by using ER5356 filler metal (A=5.3%). For CMT welding ,we note that susceptibility rises as current increase, so the best results were achieved by using CMT machine, and filler metal ER5356.

Keywords: Al5056, weldability, Hot cracks, Houldcroft test, TIG, CMT welding.

1. مقدمة:

تتمتع سلائط الألمنيوم بشكل عام، والسليطة (AIMg5(AL5056 بشكل خاص بالكثير من المزايا والخواص الميكانيكية والفيزيائية والتكنولوجية الجيدة، مما يجعلها شائعة الاستخدام في الكثير من التطبيقات الهامة، وخاصة في صناعة الطائرات. تعتبر ظاهرة التشققات على الساخن أثناء اللحام من أهم المشكلات التي يتوجب معالجتها. تظهر هذه المقالة جانباً من الدراسة والبحث الذي تم التطرق فيهما إلى هذه الظاهرة، وكيفية تجنبها ومعالجتها.

2. المعدن الأساس ومعدن الملء:

إن المعدن الأساس المستخدم في الاختبار هو سليطة الألمنيوم AIMg5 التي تنتمي للمجموعة الخامسة (5xxx) من سلائط الألمنيوم الرئيسية، وهي سليطة غير قابلة للمعالجة الحرارية، تتشكل على شكل ألواح مستطيلة الشكل أبعادها (200 x 100 cm) وسماكة (2 mm) .

يوضح الجدول رقم (1) التركيب الكيميائي لها كما ورد في التحليل الطيفي (AAS) Atomic Absorption Spectroscopy الذي أجري على عينات منها.

ويبين الجدول (2): الخواص الميكانيكية لهذه السليطة وفقاً لاختبارات الشد والقساوة التي أجريت على عينات منها وفقاً للمعيارية ASTM-E8 و ASTM-E92 [1,2].

ومن معادن الملاء المناسبة للحام هذه الخليطة والتي تم اختيارها تبعاً للمعيارية ASM [3]، هي (ER4043) و (ER5356)، ويبين الجدول (3) التركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية لكل منها تبعاً للشركة التجارية المصنعة ESAB.

الجدول (1): التركيب الكيميائي للخليطة (AL5056) وفقاً للتحليل الطيفي AAS

Chemical elements	Mg	Mn	Si	Cu	Fe	Ti	Cr	Zn	Ni	Al
% by mass	4.6	0.51	0.3	0.09	0.33	Max 0.05	0.06	0.015	0.005	BAL

الجدول (2): الخواص الميكانيكية للخليطة AIMg5(AL5056)

Mechanical properties	Yield Strength [N/mm ²]	Tensile Strength [N/mm ²]	Elongation %	Hardness HV
	155	304	22	78

الجدول (3): التركيب الكيميائي وخواص معادن الملاء المستخدمة

AlSi5(4043)				
Si 5.0%	Mn <0.05%	Fe <0.60%	Zn <0.10%	Al Rest
Tensile strength- R_m 165 μp_a		Yield dtrength- $R_{p0.2}$ 55 μp_a		Ductility 18%
AlMg5(5356)				
Si <0.25%	Mn <0.20%	Fe <0.40%	Mg 5.0%	Al Rest
Tensile strength- R_m 265A		Yield dtrength- $R_{p0.2}$ 120 μp_a		Ductility 26%

3. التشققات على الساخن:

تعتبر التشققات على الساخن مشكلة أساسية في عملية لحام الألمنيوم، وتنتج عن التأثير المشترك لكل من العوامل الحرارية (مثل الدخل الحراري، ومعدل التبريد)، والعوامل الميكانيكية (درجة التقييد) التي تؤثر على توزيع الانفعال المتشكل حول الوصلة، إضافة إلى العوامل الميتالورجية التي تحدد حساسية الخليطة للتشققات. يعتقد بأن الحساسية العالية لهذا النوع من التشققات في خلائط الألمنيوم تعود بشكل جزئي لمعامل الانكماش الكبير فيها عند التصلب، حيث تبلغ نسبة الانكماش الحجمي 6% في حين أنها للحديد حوالي 2%. تصنف التشققات على الساخن إلى الأنواع التالية:

▪ تشققات انخفاض اللدونة (DDC).

▪ التشققات السائلة (LC).

▪ تشققات التصلب (SC) [3].

يمكن أن يتشكل في معدن الدرزة الملحومة (WM) ما يسمى بتشققات التصلب (SC)، في حين يمكن أن يتشكل في المنطقة المتأثرة حرارياً (HAZ) ما يسمى بالتشققات السائلة (LC) [4].

4. اختبارات التشققات على الساخن:

هناك العديد من الاختبارات التي تعنى بدراسة التشققات على الساخن وآلية تشكلها في الوصلات اللحامية وأنواعها والأسباب التي تؤدي إلى نشوءها في الخلائط المعدنية. كما تهتم في تقييم المعدن الأساس (BM) وأيضاً معادن الملاء (FM)، من حيث حساسيتها

للتشققات على الساخن . تم شرح هذه الاختبارات بشكل مفصل في العديد من الدراسات، ومن أهمها: اختبار Houldcroft، واختبار Varestraint، واختبار Lehigh، واختبار T-joint [5].

4.1 اختبار هولدكروفت: يعد هذا الإختبار من أهم الاختبارات التي تعنى بتقييم حساسية الخلائط المعدنية التي تتراوح سماكتها بين (2-3mm) للتشققات على الساخن، والتي يتم لحامها بإحدى طرق اللحام GTAW أو GMAW، وهو من أكثر الاختبارات استخداماً، ويشبه كثيراً اختبار Lehigh من ناحية عينة الاختبار التي تتألف من مجموعة من الأخاديد الجانبية المتوازية والعمودية على خط اللحام المنطبق على محور العينة، تتزايد أطوال هذه الأخاديد بشكل تدريجي، بحيث تؤدي إلى انخفاض جساءة العينة، كما هو مبين بالشكل (1). يتم البدء بعملية اللحام على سطح العينة من الجهة ذات الأخاديد القصيرة والجساءة الكبيرة، مع التأكيد على تحقيق وصلات لحامية بتغلغل كامل.

يبدأ تشكل الشق في بداية الوصلة حيث يحصل انخفاض شديد في مقاومة المعدن، ويستمر بالانتشار على طول خط اللحام، ولكن تزايد أطوال الأخاديد الجانبية للعينة يؤدي إلى تناقص جساءة العينة وارتفاع تدريجي في مقاومتها لتشكل التشققات وبالتالي فإن الشق الذي تشكل في بداية الوصلة سيصل إلى نقطة ويتوقف عندها.

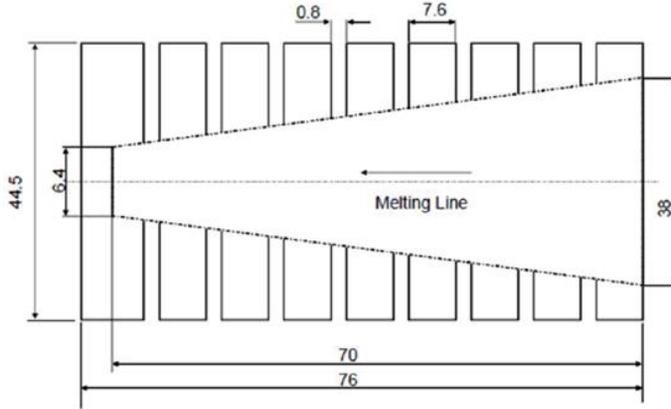
يقاس طول الشق المتشكل (الشكل 2)، ويحسب معدل حساسية الخليطة المعدنية (A%) للتشققات على الساخن وفق المعادلة التالية:

$$(1) A = [L_t / L_0] \times 100 (\%) \quad [2]$$

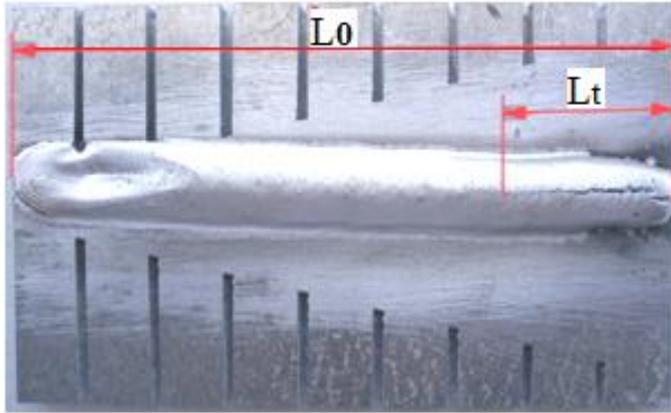
حيث : A : حساسية التشقق.

L_t : طول الشق (mm).

L_o : طول الدرزة (mm).



الشكل (1) : أبعاد عينة الاختبار وأطوال الأخاديد في طريقة هولدكروف



الشكل (2): عينة اختبار Houldcroft محدد عليها طول الشق وطول الدرزة المنفذة

5. التجهيزات والأدوات:

ينفذ هذا الإختبار في مركز تقانات اللحام في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا،

ومن التجهيزات التي تم استخدامها في هذا الإختبار (الشكل 3):

- آلة اللحام Trans Senargic CMT.

- آلة اللحام ESAB Origo TIG 3000i.

- عربة اللحام WeldyCar NV.

- طاولة اللحام، مثبتات، فرشاة ستانلس خاصة لتنظيف العينة.



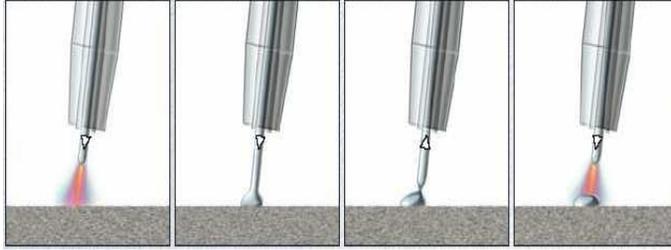
الشكل (3): التجهيزات المستخدمة في اختبار Houldcroft

5.1. آلة اللحام CMT:

تم تطوير العديد من تقنيات اللحام خلال العقود الأخيرة، وكان أهمها تقنيات الـ MIG والـ TIG، التي استخدمت في الكثير من الصناعات، لكن بقيت بعض المشاكل التي تخفض من فعالية اللحام وخاصة في خلائط الألمنيوم، لذلك طورت شركة Fronius تقنية لحام

ال MIG ، واخترعت في عام 2004 تقنية انتقال المعدن بدخل حراري معتدل (على البارد) CMT.

تعتمد هذه الآلة طريقة جديدة متكاملة لفصل قطرات المعدن المنصهر عن سلك الإلكترود خلال دارة القصر، وتتميز عن غيرها من آلات اللحام بمبدأ عملها حيث يتقدم السلك نحو الملحومة حتى يحدث قصر بالدارة، وعند تلك اللحظة تُعكس حركة السلك ويُسحب السلك للخلف، وعندما تُفتح دارة القصر من جديد، تُعكس حركة السلك مرة أخرى، ويتقدم السلك نحو الملحومة وتبدأ العملية مرة أخرى (الشكل 4).



الشكل (4): المراحل الرئيسية في عملية الـCMT

6. خطوات تنفيذ هذا الإختبار:

تعتمد في كلتا حالتنا الاختبار الخطوات التالية :

- 1 - قص عينات الإختبار وتحضيرها: يجري قصها باستخدام الليزر، ويعتمد تصميم عينة الاختبار وأبعادها على سماكتها وعلى تقنية اللحام المتبعة تبعاً للمراجع [3,5] .
- 2 - يتم إزالة طبقة الأكسيد المتشكلة على سطح العينات باستخدام فرشاة ستانلس خاصة.

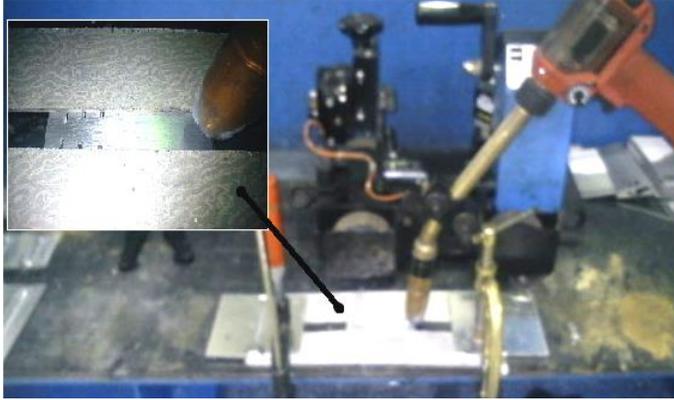
3 - تنظيف العينات من الأوساخ والشحوم التي قد تتواجد عليها وذلك بمسحها جيداً بقطعة قماش مبللة بمادة الكحول التجاري.

4- تثبت العينة على طاولة اختبار باستخدام مقامط التثبيت كما بالشكل (5).

5 - اختيار معدن ملء مناسب.

6 - إعداد عربة اللحام وتثبيت التورش عليها وتحديد سرعة اللحام واتجاه حركتها.

7 - إعداد آلة اللحام للاختبار واختيار المتحولات الثابتة والمتغيرة الموصى بها [6].



الشكل (5) : طريقة تثبيت عينة الاختبار

7. إجراء الإختبار:

7.1. إجراء الإختبار على وصلات لحامية منفذة بطريقة اللحام TIG:

جرى إعداد الآلة لتنفيذ اللحام بتيار AC و بشكل نبضي.

تم اختيار سرعة لحام مناسبة لاختبار هولذكروفت من أجل عينات ذات سماكة 2 mm

وذلك تبعاً للقيم المرجعية (30 cm/min) المأخوذة من المراجع [3,6] .

وتم اختيار مجال متحولات اللحام بتنفيذ مجموعة من الوصلات للحامية على عينات خاصة جانبية مع تغيير كل من شدة تيار اللحام ضمن المجال [70-110 A]، والجهد ضمن المجال [12-17V] وتدفق الغاز ضمن المجال [15-19 L/min] حتى تتحقق وصلة لحامية بتغلغل كامل.

يوضح الجدول (4) متحولات اللحام المناسبة للاختبار

الجدول (4) : المتحولات المستخدمة في الاختبار (طريقة اللحام TIG)

شدة التيار	جهد اللحام	سرعة اللحام	تدفق الغاز	سماكة العينة	قطر الكترود التنغستن	طول القوس الكهربائي
[A]	[V]	[cm/min]	[L/min]	[mm]	[mm]	[mm]
90	15	30	17	2.0	1.2	3.0

يبين الشكل (6) إحدى العينات التي خضعت للاختبار بطريقة اللحام TIG ويظهر التشقق بشكل واضح.



الشكل (6): وصلة لحامية خاضعة للاختبار Houldcroft (آلة اللحام الـ TIG)

7.2 إجراء الاختبار على وصلات لحامية منفذة بطريقة اللحام CMT :

تم إعداد آلة اللحام التي تعمل بتقنية الـ CMT واستخدمت القطبية (+)DC للحصول على تأثير نظيف للقوس الملائم (تيار مستمر و الكترود موجب).

وحددت المتحولات الثابتة وفق المرجعية [3] كما يلي:

- الكترود اللحام بقطر $\phi 1.2\text{mm}$.
- غاز الحماية المستخدم هو غاز الأرجون بتدفق 17 L/min .
- قطر فوهة التورش $\phi 16\text{ mm}$.
- المسافة بين فوهة الغاز وسطح المشغولة 13 mm .
- زاوية المسير 15° - زاوية العمل 90° .

تم تحديد سرعة عربة اللحام تبعاً للمراجع [3,6] وقيمتها 55 cm/min ، أما متحولات اللحام الأخرى، التي تم اختيارها، والتي تحقق تغلغل كامل فهي موضحة بالجدول (5) .

يبين الشكل (7) وصلة لحامية خضعت للاختبار بطريقة الـ CMT.



الشكل (7): وصلة لحامية خضعت للاختبار بطريقة اللحام CMT

الجدول (5): متحولات اللحام المستخدمة للاختبار بطريقة الـ CMT

سرعة اللحام [cm/min]	الجهد [V]	التيار [A]	العينة
55	11.0	70	D
55	12.6	85	E
55	13.0	100	F

8. استعراض نتائج الاختبار وتحليلها:

أجري الإختبار باستخدام آلة الـ TIG على مجموعة من تسع عينات على ثلاث مراحل:

المرحلة الأولى: دون استخدام معدن ملء (ثلاث تكرارات).

المرحلة الثانية:

باستخدام معدن ملء ينتمي لخليطة الألمنيوم (AISI5(ER4043) (ثلاث تكرارات).

المرحلة الثالثة:

باستخدام معدن ملء ينتمي لخليطة الألمنيوم (AIMg5(ER5356) (ثلاث تكرارات).

تم استخدام متحولات اللحام نفسها من أجل كل التجارب ماعدا معدن الملء الذي يتغير.

كما أُجري الإختبار باستخدام آلة الـ CMT على مجموعتين من العينات كل منها مؤلفة

من (9) عينات، خضعت الأولى للاختبار باستخدام معدن الملء (ER4043)، والثانية

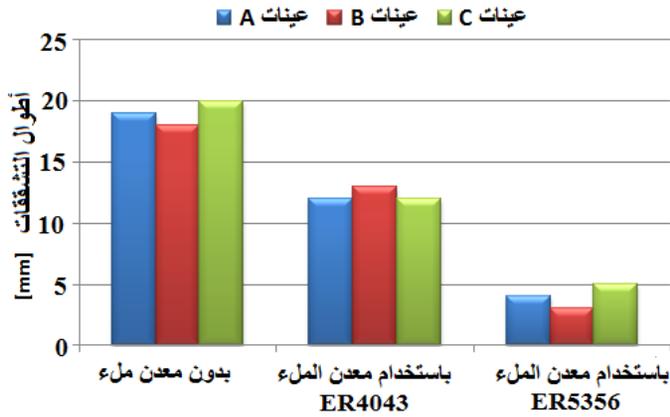
باستخدام معدن الملء (ER5356)، ثلاث تكرارات عند كل قيمة للتيار.

8.1. نتائج الاختبار باستخدام آلة الـ TIG :

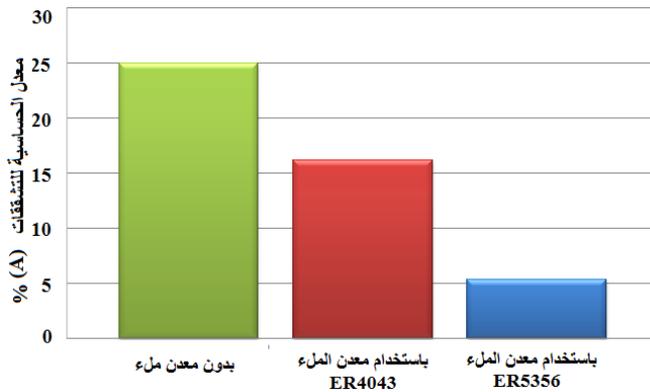
يوضح الجدول (6) نتائج القياس لأطوال التشققات المتشكلة، إضافةً لقيم معدل حساسية الخليطة المدروسة للتشققات التي تم حسابها باستخدام العلاقة (1). وبناءً على هذه النتائج تم إنشاء المخططين الموضحين بالشكلين (8) و (9).

الجدول (6) : نتائج اختبار هولديكروفت المنفذ بطريقة اللحام TIG

العينة	معدن الملء	طول الشق [mm]	متوسط طول الشق [mm]	نسبة الحساسية للتشقق [%]
A1	دون معدن ملء	20	19.0	25.0
B1		18		
C1		19		
A2	AlSi5 (ER4043)	12	12.3	16.2
B2		13		
C2		12		
A3	AlMg5 (ER5356)	5	4.0	5.3
B2		3		
C3		4		



الشكل (8): أطوال الشقوق المتشكلة (باستخدام طريقة الـ TIG) وتأثير معدن الملء عليها



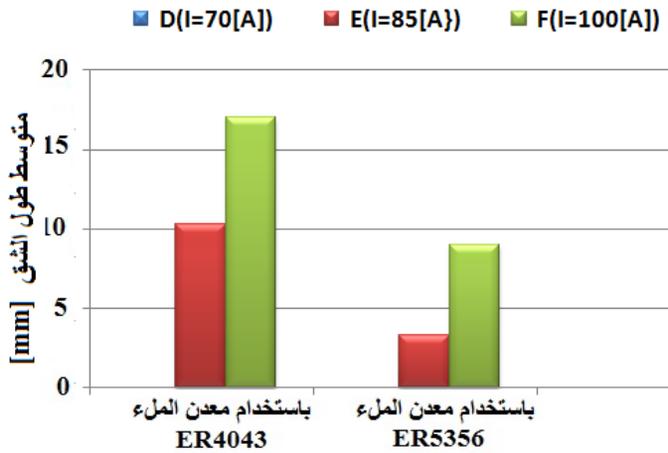
الشكل (9) معدل حساسية الخليطة المدروسة للتشققات على الساخن (باستخدام طريقة الـ TIG) وتأثير معدن الملء عليها

8.2. نتائج الاختبار بطريقة الـ CMT:

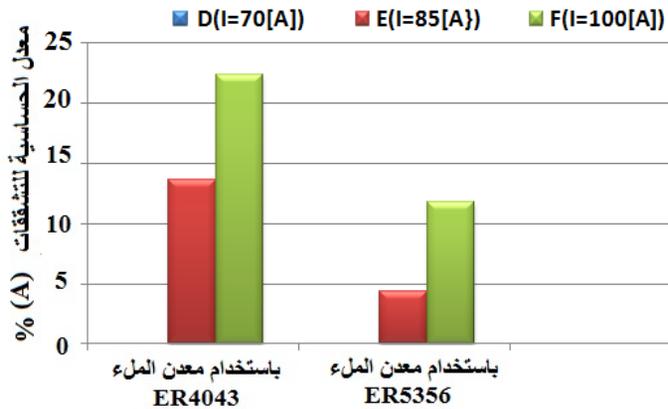
يوضح الجدول (7) نتائج الاختبار باستخدام طريقة اللحام CMT، كما يبين الشكلين (10) و (11) مخططين لأطوال الشقوق المتشكلة ومعدل حساسية الخليطة (AI5056) للتشققات وتأثير معدن الملء على كل منها.

الجدول (7): نتائج اختبار هولديروفت بطريقة اللحام CMT

معدل الحساسية للتشقق	متوسط طول الشق [mm]	طول الشق [mm]	تيار اللحام [A]	العينة	معدل الحساسية للتشقق	متوسط طول الشق [mm]	طول الشق [mm]	تيار اللحام [A]	العينة
معدن الملء: ER5356					معدن الملء: ER4043				
0	0	0	70	D21	0	0	0	70	D11
		0		D22			0		D12
		0		D23			0		D13
4.4	3.3	3	85	E21	13.6	10.3	9	85	E11
		4		E22			12		E12
		3		E23			10		E13
11.8	9.0	10	100	F21	22.4	17.0	17	100	F11
		8		F22			18		F12
		9		F23			16		F13



الشكل (10): متوسط أطوال الشقوق المتشكلة (بطريقة الـ CMT) وتأثير معدن الملء عليها



الشكل (11): معدل حساسية الخليطة المدروسة للتشققات على الساخن (باستخدام طريقة الـ CMT) وتأثير معدن الملء عليها

9. مناقشة النتائج:

9.1 مناقشة نتائج الاختبار المنفذ بطريقة اللحام TIG:

أظهرت النتائج أن معدل حساسية المعدن الأساس (AI5056) عند تنفيذ الاختبار دون معدن ملء هي ($A=25\%$)، تقع هذه القيمة ضمن المجال المقبول ($A < 35\%$). أي أن حساسية المعدن الأساس للتشققات على الساخن منخفضة. تتوافق النتيجة السابقة التي حصلنا عليها مع القيم المرجعية لاختبار هولذكروفت التي بلغت ($A=22\%$) [6].

يلاحظ من جهة أخرى انخفاض معدل الحساسية باستخدام معدن ملء إلى القيمة ($A=16.2\%$) عند استخدام معدن الملء (ER4043) وإلى القيمة ($A=5.3\%$) عند استخدام (ER5356) كمعدن ملء، أي أن اللحام باستخدام معدن ملء يقلل من خطر التشققات على الساخن في الوصلات الملحومة، وكلما كان التركيب الكيميائي لمعدن الملء أقرب للتركيب الكيميائي للخليطة كانت مقاومة المعدن لظهور التشققات أكبر.

9.2 مناقشة نتائج الاختبار المنفذ بطريقة اللحام CMT:

أظهرت النتائج في هذه الحالة عدم تشكل أي تشققات عند قيم صغيرة لشدة التيار ($I=70A$).

تتزايد حساسية الخليطة مع ارتفاع شدة التيار، فمن أجل تيار ($I=85A$) كان معدل الحساسية ($A=13.6\%$) من أجل معدن الملء (ER4043)، وأصبح ($A=4.4\%$) عند استخدام معدن الملء (ER5356).

أظهرت النتائج وجود تفاوت في معدل الحساسية المقاسة عند استخدام طريقتي لحام مختلفتين، حيث كانت الوصلات اللحامية التي خضعت للاختبار باستخدام طريقة الـ TIG أكثر حساسية للتشققات من الوصلات التي خضعت للاختبار باستخدام طريقة الـ CMT، وهذا يدل على تأثير طريقة اللحام المستخدمة في حساسية الخليطة للتشققات الساخنة.

كانت أفضل النتائج التجريبية التي حصلنا عليها عند استخدام معدن الملاء (ER5356)، وطريقة اللحام CMT، وهذا يتوافق مع ما ورد في العديد من المراجع مثل الـ ASM [3]، التي تبين بأن معدن الملاء (ER5356) هو المعدن المناسب في لحام الخليطة (Al5056).

يمكن تفسير ذلك بأن التركيب الكيميائي لمعدن الملاء مشابه للتركيب الكيميائي للمعدن الأساس والذي يتميز بنسبة كبيرة لعنصر المغنيزيوم الذي له دور هام في مقاومة المعدن لتشكل التشققات على الساخن إضافة إلى الدخول الحراري المنخفض الذي يتحقق بطريقة الـ CMT والذي يقلل من الانكماش الحراري الحاصل أثناء تصلب حوض اللحام، كما أن له دور هام في بقاء حجم الحبيبات المشكلة أثناء التصلب صغيراً نسبياً مما ينعكس إيجاباً على مقاومة المعدن لتشكل التشققات الصلبة.

10. الاستنتاجات:

جرى في هذه المقالة توظيف اختبار هولذكروفت في تقييم حساسية خليطة الألمنيوم AIMg5(AL5056) للتشققات على الساخن أثناء اللحام، واستخدم من أجل ذلك آلي لحام ومعدني ملء، ويمكن من خلال استعراض النتائج التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

1- تبين باستخدام اختبار هولذكروفت، وباتباع طريقة للحام الـ TIG ، أن التشققات المتشكلة كانت أطول ومعدل الحساسية أكبر نسبياً مقارنة بالتشققات التي تشكلت بطريقة الـ CMT.

2- يقع معدل حساسية الخليطة ضمن الحدود المقبولة حيث بلغ هذا المعدل دون استخدام معدن ملء (25%)، و يمكن تخفيضه باستخدام معدن ملء مناسب أثناء اللحام، أي أن هذه الخليطة مقاومة لتشكل التشققات على الساخن عند لحامها.

3- إن أفضل معدن ملء يعطي أفضل (أقل) حساسية (مقاومة أعلى) لظهور التشققات على الساخن هو (ER5356)، حيث بلغ معدل الحساسية: $(A_{TIG} = 5.3\%, A_{CMT} = 11.8\%)$.

4- تعد طريقة اللحام CMT أفضل من طريقة اللحام TIG لأنها تقلل من خطر تشكل التشققات على الساخن، ويعزى ذلك لمواصفاتها المتطورة ومبدأ عملها الذي يقلل من الدخول الحراري المقدم أثناء اللحام.

5- في ضوء الاستنتاجات السابقة يوصى بلحام خليطة الألمنيوم Al5056 باستخدام آلات لحام متخصصة بخلائط الألمنيوم، والتي تمثل طريقة الـ

CMT أهمها وأحدثها، وباستخدام معدن الملاء ER5356 الأقرب بتركيبه الكيميائي للتركيب الكيميائي للخليطة المدروسة والذي يتميز بالنسبة العالية لعنصر المغنيزيوم (Mg:5%) وذلك تجنباً لخطر التشققات على الساخن.

- [1] ASTM , May 2004 - Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials1, E8.An American National Standard, United State, P24.
- [2] ASTM , April 2003 - Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials1,E92. An American National Standard, United State, P9.
- [3] ASM HandBook,1993- Welding- Brazing and Soldering . ASM International , Vol 6 United State , P 2873.
- [4] Kolarik, L. et al. Houldcroft weldability test of aluminum alloy EN AW 6082 T6, Proceeding of IMEF 2011, CULS , Prague, 2011, (in Czech)
- [5] AWS B4.0:2007-, Standard Methods for Mechanical Testing of Welds. An American National Satndard, United State, P2459.
- [6] Matsuda, F., Nakata, K., Harada, S.: Moving Characteristics of Weld Edges during Solidification in Relation to Solidification Cracking in GTA Weld of Aluminum Alloy Thin Sheet.

