



دراسة تأثير عوامل اللحام على مقاومة الشد لوصلات ملحومة من الصلب منخفض الكربون باستخدام لحام القوس الكهربائي

أحمد فرج باكير* و معمر مصباح بن عيسى

قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية، كلية الهندسة، الجامعة الأسمرية الإسلامية، زليتن، ليبيا.

*البريد الإلكتروني: ahmedfaraj560@gmail.com

A Study on The Impact of Welding Parameters on The Tensile Strength of Welded Joints Made of Low Carbon Steel Using Electric Arc Welding

Ahmed Faraj Bakier* and Muamar M. Benisa

Department of Mechanical & Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Alasmariya Islamic University, Zliten, Libya.

الملخص

يعتبر اللحام من أهم العمليات الصناعية لذلك تم تطوير العديد من الطرق لغرض الحصول على وصلة لحام ذات خواص ميكانيكية جيدة بأقل تكلفة لأنواع مختلفة من المعادن، تتلخص فكرة هذا البحث في دراسة تأثير عوامل اللحام (التيار، قطر سلك اللحام، قوة القوس) على اختبار الشد لوصلات ملحومة من الصلب منخفض الكربون بطول 200 مم وعرض 130 مم وسماك 6 مم باستخدام ماكينة اللحام بالقوس الكهربائي (deca E-ARC 860). صممت التجارب على أساس ثلاث مستويات لكل من التيار وقطر سلك اللحام وقوة القوس حيث أجريت التجارب وذلك بتثبيت عاملين من العوامل وتغيير العامل الثالث وهكذا، ومن ثم إجراء الفحص الذي تضمن اختبار الشد ومقارنتها بعينة من نفس المعدن غير ملحومة. بلغ أقصى إجهاد شد للوصلة الملحومة 203 ميغا باسكال بكفاءة لحام (91.44%)، وأدنى إجهاد شد للعينات الملحومة بلغ 138 ميغا باسكال بكفاءة لحام (62.16%).

الكلمات الدالة: صلب منخفض الكربون، لحام القوس الكهربائي، اختبار الشد.

Abstract

Welding is considered one of the most important industrial processes, so many methods have been developed to obtain a weld joint with good mechanical properties at the lowest cost for different types of metals. The objective of this paper was to study the effect of welding parameters (current, welding wire diameter, and arc Force) on the tensile strength of welded joints of low-carbon steel. The length of the specimen was 200 mm, while the width was 130 mm and the thickness was 6 mm. An arc welding machine (deca E-ARC 860) was used. The experiments were designed based on



three levels for each of the currents, the diameter of the welding wire, and the force of the arc. The experiments were carried out by fixing two of the factors changing the third factor, and so on. The test that included the tensile test of the joints was conducted, and compared with a sample of the same non-welding metal. The maximum tensile stress of the welded joint was (203 MPa) with a welding efficiency of (91.44%), and the minimum tensile stress of the welded samples was (138 Mpa) with a welding efficiency of (62.16%).

Keywords: Low carbon steel, Arc welding process, Tensile test.

1. المقدمة

غالبًا ما يعود سبب الخسائر في الأرواح والممتلكات بسبب الفشل الكارثي للهياكل إلى اللحامات المعيبة لذلك فقد حدثت تطورات كبيرة في علوم وتكنولوجيا اللحام في العقود القليلة الماضية؛ لتحقيق أعلى جودة ممكنة للحامات، وذلك بحل العديد من القضايا والمشكلات المعاصرة المتعلقة بهيكلية وخصائص اللحامات بالإضافة إلى استخدام التحكم الذكي والتشغيل الآلي في عمليات اللحام (David & DebRoy, 1992).

في السنوات العشرين الماضية كان نمو علوم وتكنولوجيا اللحام هائلا في جميع أنحاء العالم، فاللحام هو عبارة عن تقنية تقدر بمليارات الدولارات تستخدم على نطاق واسع في تشييد المباني والجسور وفي صناعة السيارات والطائرات والفضاء والطاقة وبناء السفن والصناعات الإلكترونية، في العقود العديدة الماضية تطور اللحام كنشاط متعدد التخصصات يتطلب توليفة من المعرفة في مختلف التخصصات مثل فيزيائية القوس والبلازما والديناميكا الحرارية والكيمياء ذات درجة الحرارة العالية وعلم المواد وظواهر النقل والنمذجة الرياضية وعلوم الكمبيوتر والروبوتات والاقتصاد ومجموعة متنوعة من المجالات بما في ذلك المجالات الميكانيكية والكيميائية والكهربائية حيث تقوم حاليا بمساهمات جديدة (David & DebRoy, 1992).

2. الدراسات السابقة

قام حسين وآخرون (2010) بدراسة تأثير اللحام على خواص الشد والصلادة للفلواذ الكربوني باستخدام طريقتي (Arc Welding & Tig Welding)، حيث قاموا بإجراء اختبار الشد وقياس الصلادة وأخذوا صور للبنية المجهرية للعينات الملحومة وقاموا بمقارنتها بعينة غير ملحومة من نفس المعدن، ووجدوا أن أقصى إجهاد شد متحصل عليه للعينة الملحومة من نوع (Arc) قد بلغ (22.5%) وهي قيمة شد أكبر من القيمة المتحصل عليها من العينة الغير ملحومة، أما العينة التي تم لحامها بلحام (Tig)



فقد كانت قيمة الشد فيها (7.5%) وهي قيمة أقل من نتيجة الطريقة الأولى، كما وجدوا أن أكبر قيمة للصلادة قد بلغت (HV 255) للعينة الملحومة بطريقة (Tig)، بينما بلغت (HV 200) في طريقة (Arc). قام Tewari وآخرون (2010) بدراسة تأثير عوامل اللحام على قابلية اللحام للمواد، حيث قاموا بدراسة تأثير عوامل اللحام المختلفة على قابلية اللحام لعينات الفولاذ الطري، وتم تحديد أبعاد عينة اللحام بالقوس المعدني كالتالي: (50 مم×40 مم×6 مم) تم اختيار تيار اللحام القوسي والجهد وسرعة اللحام ومعدل التغذية كعوامل لحام، تم قياس كل من عمق الاختراق لكل عينة بعد عملية اللحام على الوصلة الملحومة وتأثيرات سرعة اللحام، وتم فحص تأثير معدل التغذية على عمق الاختراق، وعندما تم أخذ سرعة اللحام كعامل متغير، تم الحصول على أعمق اختراق وهو 5.41 مم عند سرعة 110.39 مم/دقيقة، وكان أقصى عمق اختراق تم الحصول عليه عندما كان معدل التغذية 1,369.68 جول/مم.

قام الباحثان (Lee & Um، 2000) بالتنبؤ بعوامل عملية اللحام عن طريق التنبؤ بهندسة الدرزة، تم في هذا البحث مقارنة النتائج المتعلقة بالتنبؤ الهندسي للدرزة في لحام القوس المعدني بالغاز حيث توجد فجوة اللحام، وتم استخدام التحليل الإحصائي المتعدد والشبكة العصبية الاصطناعية في التنبؤ الهندسي. ووفقاً لنتائج التنبؤ الهندسي أظهرت طرق التنبؤ الهندسي خطأً بسيطاً بدرجة كافية ليتم تطبيقها على اللحام الحقيقي، ومع هذه النتائج تم صياغة نظام التنبؤ بعوامل عملية اللحام من أجل الحصول على هندسة الدرزة المرغوبة. وكان للفجوة أكبر خطأً في التنبؤ بالأخطاء الهندسية باستخدام طريقة التحليل الإحصائي، تلبها سرعة اللحام، وجهد القوس، وتيار اللحام. لذلك أستخدم أن الفجوة هي العامل الأكثر صعوبة في تكوين نظام التنبؤ لعملية اللحام بالترتيب للحصول على الشكل الهندسي المطلوب للدرزة في اللحام التناكبي.

قام جاسم وآخرون (2018) بدراسة تأثير السرعة والتيار على عيوب اللحام للفولاذ منخفض الكربون باستخدام اللحام بالقوس المعدني والغاز الخامل، قاموا بإجراء عملية اللحام بالغاز الخامل ضمن تيار يتراوح بين (260، 266، 272) أمبير، وسرعة تغذية (110، 115، 120) إنش/دقيقة. أظهرت نتائج الفحص البصري ظهور عيوب مثل (التراكب، والشرارة، وعدم إكمال منطقة اللحام، وعدم التجانس)، والتي تعود إلى عدم التوافق بين التيار وسرعة التغذية. وكانت أفضل النتائج وأقل عيوب ضمن التيار 272 أمبير وسرعة 115 إنش/دقيقة، أما فحص السائل النفاذ فقد أظهر بعض الشقوق الناتجة من فرق درجة الحرارة بين المعدن الأساسي ومنطقة اللحام، بينما بين الفحص المجهرية تأثير التيار على الحرارة وبالتالي حدث تأثير على البنية المجهرية.



قام Abdullahi (2022) بدراسة تأثير المعالجة الحرارية على الوصلات الملحومة باستخدام اللحام القوسي المعدني المحمي (SMAW) على ثلاثة أنواع مختلفة من الفولاذ بنسب كربون مختلفة في ظل ظروف ثابتة مثل: تيار اللحام 120 أمبير، الجهد 80 فولت، قطر 10 مم، وزاوية 60°. قام بإجراء اختبارات الصلابة وتحليل التركيب الكيميائي فلاحظ أن الصلب عالي الكربون لديه أعلى صلابة حوالي 459 على مخطط HV وهي القيمة القصوى، تليها عينة الصلب منخفض الكربون بقيمة HV 316، تليها عينة الصلب متوسط الكربون HV 208. وتزداد الصلابة مع انخفاض محتوى الكربون كما هو موضح في نتائج التجربة والتي استنتج منها أن نسبة الكربون منخفضة، كما قام بالتأكد من أن الفولاذ المستخدم هو الفولاذ عالي القوة منخفض التركيب السبائكي من نوع الصلب Molybdenum (HSLA-Nickel-Chromium, 8620)، وقام بتحليل البنية المجهرية للمعدن الأساسي قبل التسخين لدعم نتائج التحليل الكيميائي حيث وصلت نسبة النيكل إلى 0.147٪ والكروم 0.083٪ والموليبيديوم 0.030٪ مما ساهم في التأثير على الخواص الميكانيكية للصلب.

قام الباحث Kim وآخرون (2005) بتطوير نظام ذكي في عمليات اللحام (GMA) باستخدام برنامج (MATLAB/SIMULINK) استناداً إلى الانحدارات المتعددة والشبكة العصبية الخاصة باللحام، أيضاً قاموا باشتقاق النماذج الرياضية من تجارب مكثفة مع عوامل لحام مختلفة وأساليب هندسية معقدة. وقدم عرض الرسوم البيانية الحل المناسب الناتج عن هندسة الخرزة (الدرزة) والذي يمكن استخدامه لتحقيق مزيد من الدقة في النظام، حيث قام النظام المطور بإتاحة إدخال أبعاد اللحام المطلوبة وتحديد معايير اللحام المثلى. أثبتت النتائج التجريبية قدرة النظام المطور على تحديد عوامل اللحام في عملية اللحام (GMA) وفقاً للسمات الهندسية الخارجية والداخلية المعقدة للملحومة.

وبشكل عام فإن جودة وصلة اللحام تتأثر تأثيراً مباشراً بعوامل اللحام المدخلة أثناء عملية اللحام أثناء عملية اللحام. لذا فإن اختيار عوامل اللحام المثالية يعتبر تحدياً لشركات اللحام للحصول على وصلة لحام ذات الجودة المطلوبة. لذا فإن الهدف من هذه الدراسة وهو دراسة تأثير عوامل اللحام (تيار اللحام، قطر قضيب اللحام، قوة القوس) على مقاومة الشد لوصلة من الصلب منخفض الكربون ملحومة بواسطة القوس الكهربائي لعدد من العينات تم لحامها على أساس ثلاث مستويات لعوامل اللحام المختارة.

3. إعداد العينات وتصميم التجارب

1.3. المواد المستخدمة في الدراسة

استخدمت صفائح من الفولاذ منخفض الكربون بأبعاد كما هي موضحة بالشكل (1) بتركيب كيميائي موضح في الجدول (1). حيث تم الحصول على التركيب الكيميائي للعينات من معامل ومختبرات الشركة الليبية للحديد والصلب بمصراتة. والجدول (2) يبين التركيب الكيميائي لمعدن سلك اللحام، وتم اختيار هذه المواد بناءً على خبرة فني اللحام وأيضا لأن هذه المواد هي المتاحة حاليا في المصنع.

جدول 1. التركيب الكيميائي للفولاذ منخفض الكربون المستخدم.

التركيب الكيميائي (%)															معدن اللحام
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al	Co	Nb	Ti	V	Fe	
0.17	0.022	0.79	0.017	0.018	0.016	0.001	0.001	0.007	0.065	0.001	0.002	0.001	0.003	Rem	فولاذ منخفض الكربون

جدول 2. يوضح التركيب الكيميائي لسلك اللحام (E6013) المستخدم

التركيب الكيميائي (%)							سلك اللحام
Si	Mn	P	C	S	Fe		
0.18	0.45	0.014	0.08	0.012	Rem		E6013



شكل 1. يوضح عينات اللحام المستخدمة.



2.3. تصميم التجارب

تم تصميم التجارب على أساس ثلاث مستويات لكل من التيار، وقوة القوس، وقطر قطب اللحام والجدول (3) يبين قيم عوامل اللحام ومستوياتها والتي تم اتخاذها بناءً على خبرة فني اللحام بمصنع الشركة الأهلية للإسمنت المساهمة- زليتن.

جدول 3. قيم عوامل اللحام ومستوياتها في عملية اللحام.

عوامل اللحام	الرمز	المستوى الأول	المستوى الثاني	المستوى الثالث
التيار	A	80	90	100
قوة القوس	AF	%10	%20	%30
قطر قطب اللحام	Mm	2.5	3.25	4

كما تم تصميم التجارب وذلك بتثبيت عاملين من العوامل (التيار وقوة القوس) وتغيير العامل الثالث (قطر قطب اللحام) وحيث أن عدد عوامل اللحام $(X=3)$ وعدد تكرار العامل $(n=3)$ وبذلك يكون عدد التجارب هو: $y = x^3 = 3^3 = 27$. حيث (y) عدد التجارب.

4. النتائج والمناقشة

بعد إجراء عمليات اللحام وفق تصميم التجارب المتبع في هذه الدراسة، أعدت العينات بعد عملية اللحام لإجراء الاختبار الاثتلافي (اختبار الشد). والهدف من هذا الاختبار هو دراسة تأثير عوامل اللحام (تيار اللحام، قطر قضيب اللحام، قوة القوس) على مقاومة الشد لوصلة اللحام.

اختبار الشد في الهندسة الميكانيكية هو اختبار عياري لتعيين الخواص الرئيسية للمواد مثل حد الخضوع ومقاومة الخضوع (مقاومة الاستطالة) وحد القطع وغيرها، وهذا الاختبار يؤدي إلى كسر قطعة العينة وذلك بتثبيت العينة خلال جهاز الشد الذي يتكون من فكين علوي وسفلي كما هو موضح في الشكلين (2 و3). تم إجراء اختبار الشد عند درجة حرارة الغرفة.



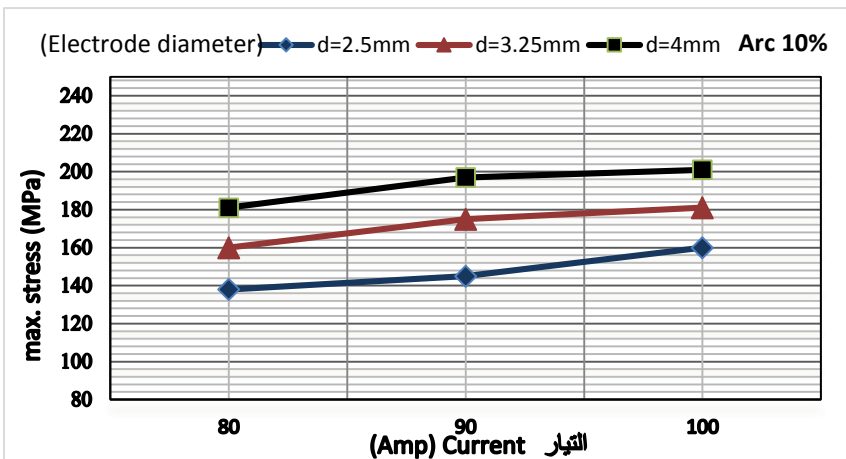
شكل 3. يوضح العينة قبل إجراء اختبار الشد



شكل 2. يوضح العينة بعد إجراء اختبار الشد

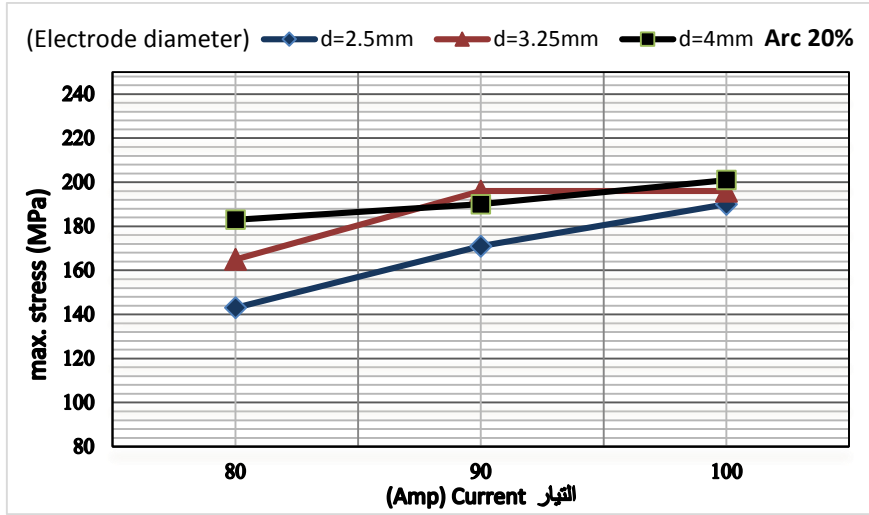
1.4. تأثير التيار على أقصى إجهاد للشد

الشكل (4) يوضح تأثير شدة التيار على الإجهاد الأقصى لعينة من حديد منخفض الكربون ملحومة بطريقة القوس الكهربائي عند قوة القوس (10%) وعند أقطار مختلفة من قطر سلك اللحام المستخدم في عملية اللحام. الشكل (4) يوضح أنه مع زيادة تيار اللحام تزداد قيمة الإجهاد الأقصى لجميع قيم أقطار سلك اللحام المستخدم (كلما زاد تيار اللحام زادت مقاومة الشد). كما يتبين أنه كلما زاد قطر سلك اللحام زادت مقاومة الشد لأي قيمة من قيم تيار اللحام المستخدمة في التجارب.



شكل 4. تأثير تيار اللحام عند ثبوت قوة القوس عند 10% مع تغير قطر سلك اللحام على الإجهاد الأقصى.

كما يوضح الشكل (5) تأثير شدة التيار في عملية اللحام على الإجهاد الأقصى عند قوة القوس (20%)، كما يبين الشكل أنه كلما زاد تيار اللحام زادت قيمة الإجهاد الأقصى عند ثلاث قيم لقطر سلك اللحام، بحيث كانت أقل قيمة للإجهاد الأقصى عند أقل قطر لسلك اللحام (2.5mm)، بينما كانت أكبر قيمة عند القطر الأكبر لسلك اللحام (4mm).

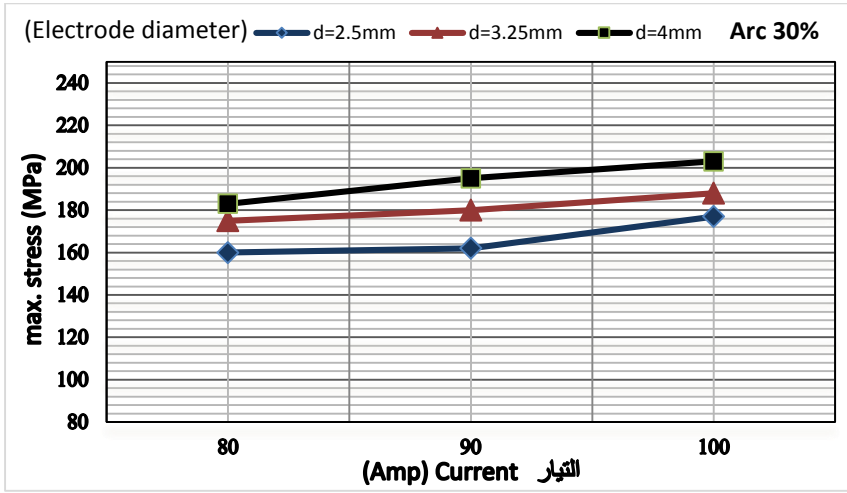


شكل 5. تأثير تيار اللحام عند ثبوت قوة القوس عند 20% مع تغير قطر سلك اللحام على الإجهاد الأقصى

في الشكل (5) نجد أن نسبة الزيادة في الإجهاد الأقصى مع زيادة تيار اللحام تأخذ أكبر قيمة لها عند استخدام قطر سلك اللحام 2.5mm (ميل المنحنى). وكلما زاد قطر سلك اللحام تقل نسبة زيادة أقصى إجهاد مع زيادة تيار اللحام ويمكن إرجاع السبب إلى أن مع زيادة قطر سلك اللحام تزداد كمية المعدن المصبوب في حوض اللحام عند قوة قوس 20% (ثبوت حوض اللحام) والذي من شأنه تقليل عملية اختراق معدن اللحام داخل المعدن الأساسي، ويرجع السبب نفسه في حالة قطر سلك اللحام 4mm، والأمر الذي يجعل التغير في قيمة أقصى إجهاد تغير طفيف جدا. في الشكل (10) يقل الفرق في قيمة الإجهاد الأقصى بين أقطار سلك اللحام الثلاثة (2.5، 3.25، و 4 مم) كلما زادت قيمة تيار اللحام المستخدم.

الشكل (6) يبين تأثير تيار اللحام عند استخدام قوة القوس 30% لأقطار سلك اللحام الثلاثة على الإجهاد الأقصى للشد، حيث كلما زاد تيار اللحام زادت قيمة الإجهاد الأقصى عند استخدام أسلاك اللحام بأقطار مختلفة. عموما فإن لشدة التيار تأثير على قيمة أقصى إجهاد، أي كلما زادت قيمة تيار اللحام زادت كمية معدن اللحام في حوض اللحام وزاد تغلغل معدن اللحام في المعدن

الأساسي، الأمر الذي يزيد من فرص زيادة قوة وصلة اللحام وبالتالي تزداد مقاومة وصلة اللحام. من الملاحظ في الأشكال (4-6). كما أن تأثير التيار في أقصى إجهاد عند استخدام سلك اللحام بقطر 4mm أقل من تأثيره عند استخدام قطر السلك 2.5mm أو 3.25mm، وهذا يمكن إرجاعه إلى أن زيادة قطر سلك اللحام (مع ثبوت تأثير تيار اللحام وقوة القوس) يتسبب في نقص الحرارة الداخلة واللازمة لصهر المعدن مما يتسبب في تقليل حوض اللحام وبالتالي يقلل من كمية المعدن المتدفق من سلك اللحام في منطقة اللحام الأمر الذي يضعف من قوة الوصلة.



شكل 6. تأثير تيار اللحام عند ثبوت قوة القوس عند 30% مع تغير قطر سلك اللحام على الإجهاد الأقصى.

في الشكل (6) عندما كانت قوة القوس (30%) وقيمة التيار (100Amp) وقطر سلك اللحام (4mm) زادت قيمة أقصى إجهاد من (195MPa-203MPa) بينما لا يوجد تأثير لشدة التيار عند استخدام قوة القوس 20% وقطر اللحام 4mm. من الأشكال (4-6) نلاحظ أن قيمة أقصى إجهاد تقل كلما قل قطر سلك اللحام ويمكن إرجاع السبب إلى أنه كلما قل قطر سلك اللحام يقل عرض حوض اللحام الأمر الذي يؤثر على كمية المعدن المصبوب من سلك اللحام في حوض اللحام، واللحام يكون أقرب إلى عملية قص باللحام منه إلى عملية الصهر. ومن الملاحظ أن قيمة أقصى إجهاد في العينة غير الملحومة والتي كانت (221MPa) أكبر من الإجهاد في العينات الملحومة والتي كانت أقصى قيمة له 203MPa عند تيار 100Amp وقطر سلك اللحام المستخدم 4mm وقوة القوس كانت 30%. وعموماً يمكن القول إنه عند زيادة قوة القوس يزداد حوض اللحام وتزداد كمية اللحام وخاصة عند قطر سلك اللحام (d=4mm)، بينما يقل حوض اللحام مع زيادة التيار وتقليل قوة القوس الأمر الذي يؤثر على

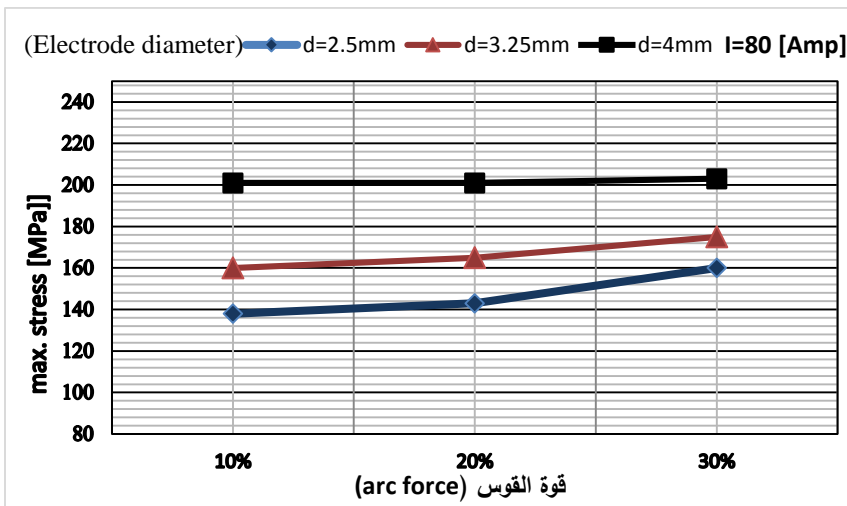


جودة اللحام وتصبح منطقة اللحام ضيقة وخاصة عندما يكون قطر سلك اللحام صغير ($d=2.5\text{mm}$) ويقل إجهاد الشد كما بالشكل (4). من الجدير بالذكر أنه كلما زادت شدة التيار اقتربت قيم إجهاد الشد الأقصى لقطر سلك اللحام ($d=2.5\text{mm}$) من قيم إجهاد الشد للقطر ($d=3.25\text{mm}$) وهكذا بالنسبة للقطر الثالث ($d=4\text{mm}$) مع القطر الثاني ($d=3.25\text{mm}$)، ونطبق هذا الأمر مع زيادة قوة القوس.

ويمكن تلخيص تأثير التيار الكهربائي من خلال الأشكال (4-6) وفقاً للنتائج بأن زيادة التيار يؤدي إلى زيادة الحرارة مما يتسبب في إذابة سلك اللحام بنسبة أكبر وتزداد كمية الحرارة الداخلة والذي يسبب في زيادة معدل التبريد، وهذه الزيادة لها تأثير على البنية المجهرية والتي تميل إلى تكون (البرليت) وهو طور صلب وقوي وبالتالي تزداد مقاومة الشد في الوصلة.

2.4. تأثير قوة القوس على الإجهاد الأقصى في عملية اللحام

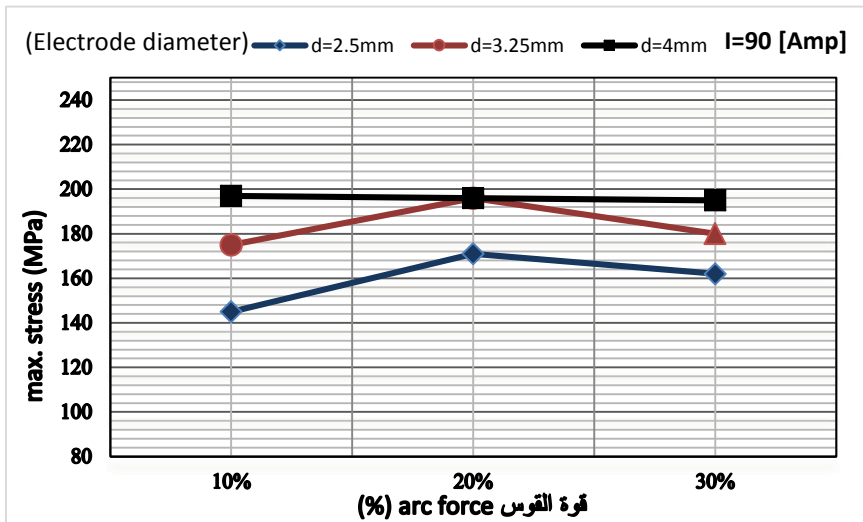
يتم توضيح تأثير قوة القوس في عملية اللحام عند ثلاث قيم لشدة التيار لثلاث قيم من قطر قضيب اللحام في الأشكال (7-9). حيث يبين الشكل (7) تأثير قوة القوس على العينات الملحومة عند شدة التيار (80Amp) بثلاث أقطار مختلفة، ويلاحظ أن قوة القوس لها تأثير عند قطر (2.5mm) حيث كانت الزيادة طفيفة بين قوة القوس 10% و20% من 138MPa إلى 143MPa، ومن ثم كانت كمية الزيادة أكبر عند نسبة القوس (30%) حيث وصلت إلى (160MPa)، في حين أن قطر القضيب (3.25mm) حدثت فيه زيادة بمقدار (5MPa) بين نسبة قوس (10-20%) ومن ثم زادت قيمة أقصى إجهاد زيادة ملحوظة عند قوة القوس 30% إلى (175MPa).



شكل 7. تأثير قوة قوس اللحام عند ثبوت تيار اللحام 80Amp مع تغير قطر سلك اللحام.



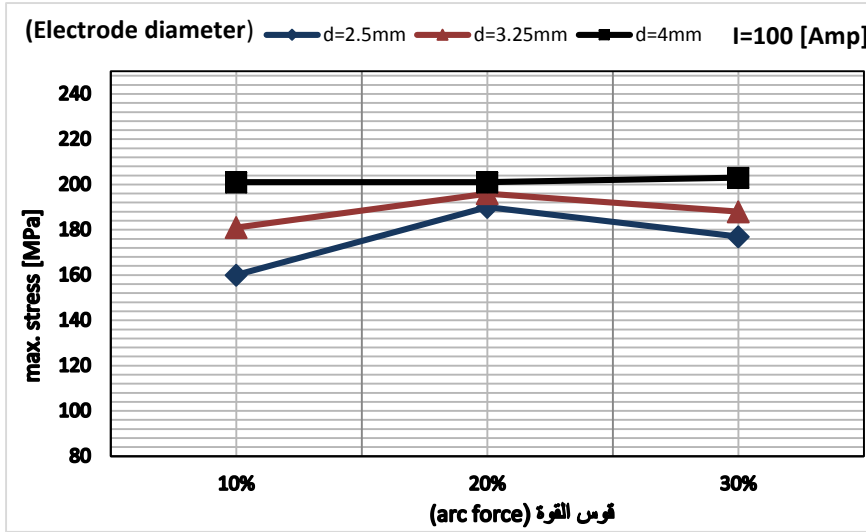
يبين الشكل (7) أنه لا يوجد تأثير لقوة القوس على أقصى إجهاد عندما كان قطر قضيب اللحام (4mm) حيث كانت قيمة أقصى إجهاد تقريبا ثابتة والسبب راجع إلى أن قيمة التيار لقطر سلك (4mm) صغيرة. عموما فإن الشكل السابق أوضح أن قيمة أقصى إجهاد تزداد كلما زاد قطر قضيب اللحام عند قيمة معينة لقوة القوس. بينما يبين الشكل (8) تأثير قوة القوس على أقصى إجهاد في عملية اللحام بالقوس الكهربائي عند تيار لحام 90 Amp وثلاث أقطار مختلفة لقطر قضيب اللحام. ويبين الشكل أيضا أنه مع زيادة قوة القوس من (10% - 20%) تزداد قيمة أقصى إجهاد بنسب زيادة مختلفة حيث كانت أكبر نسبة زيادة عند قطر قضيب اللحام (2.5mm) ويلها قطر القضيب (3.25mm) وكانت نسبة تأثير قوة القوس على أقصى إجهاد عند قطر سلك اللحام (4mm) أقل نسبة وتكاد تكون ثابتة. ويمكن أن يكون السبب راجع إلى أنه مع زيادة قطر سلك اللحام سيتطلب زيادة في التيار ولهذا السبب زيادة قوة القوس لم يكن لها تأثير في قيمة أقصى إجهاد عند هذه القيمة من التيار، وعند زيادة قوة القوس من (20%-30%) حدث انخفاض في قيمة أقصى إجهاد لسلكي اللحام (3.25mm, 2.5mm) بينما لم يتأثر القطر الأكبر (4mm) لسلك اللحام مع زيادة قوة القوس. يمكن أن يرجع سببه إلى أنه مع زيادة قوة القوس يزداد عرض حوض اللحام والذي بدوره يتطلب زيادة كمية المعدن المصبوب في حوض اللحام ليكتمل التغلغل والمليء وهذا الظرف لم يتوافر عند القطرين الصغيرين (3.25mm, 2.5mm) مما تسبب في انخفاض أقصى إجهاد للشد.



شكل 8. تأثير قوة قوس اللحام عند ثبوت تيار اللحام 90Amp مع تغير قطر سلك اللحام.

إن السبب وراء انخفاض قيمة أقصى إجهاد يمكن أن يرجع إلى أنه عند زيادة قيمة التيار مع زيادة قيمة قوة القوس تزداد مساحة حوض اللحام (يتطلب زيادة كمية المعدن المصبوب في حوض اللحام ليكتمل التغلغل والمليء). هذه الزيادة في حوض اللحام من شأنها أن تسبب في نوع من عدم استقرار القوس (اضطراب في القوس) وخاصة عند انخفاض قيمة قطر سلك اللحام، ومع الاستمرار في عملية اللحام بقوس مضطرب، من شأنه أن يسبب في انخفاض قيمة الإجهاد الأقصى عند هذه الظروف.

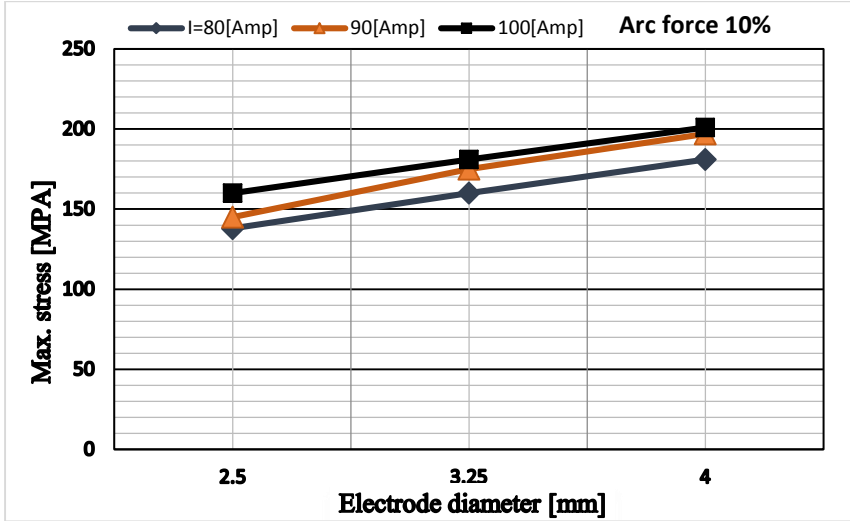
الشكل (9) يبين تأثير قوة القوس عند تيار لحام (100Amp)، ومن الملاحظ أن سلوك قيمة أقصى إجهاد في الشكل (9) لا تختلف عن التي في الشكل (8)، ويلاحظ أيضا أن قيمة التناقص الحاصل في أقصى إجهاد عند زيادة قوة القوس من (20%-30%) في الشكل (9) أقل حدة من التي في الشكل (8) بسبب زيادة التيار الذي يعطي كمية إضافية من الحرارة الداخلة. نلاحظ أنه عند زيادة قوة القوس من (20%-30%) عند قطر قضيب اللحام (4mm) كما بالشكلين (7 و 8) فإنه لا يوجد تأثير لقوة القوس على أقصى إجهاد، ويمكن أن يرجع السبب إلى أن قيمة التيار بالنسبة إلى قطر سلك اللحام لازالت صغيرة ولهذا لا يوجد تأثير لقوة القوس عند هذا القطر (4mm).



شكل 9. تأثير قوة قوس اللحام عند ثبوت تيار اللحام 100Amp مع تغير قطر سلك اللحام.

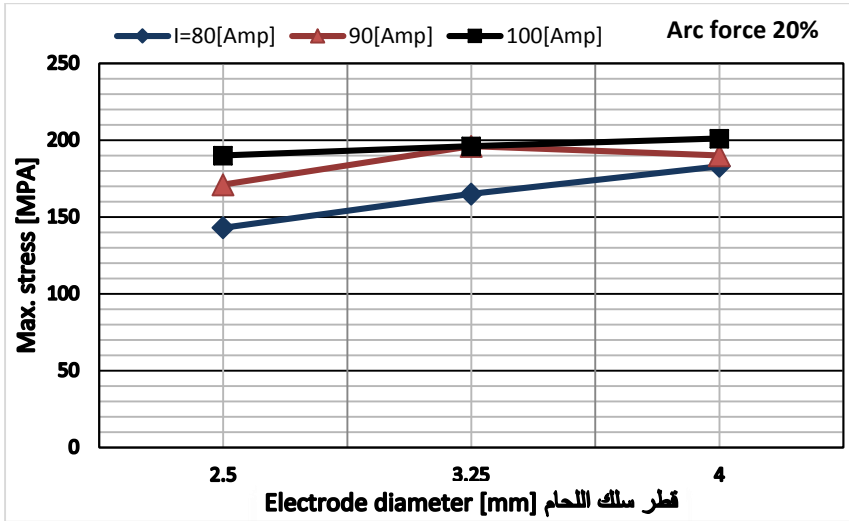
3.4. تأثير قطر قضيب اللحام على الإجهاد الأقصى في عملية اللحام

الأشكال (10-12) توضح تأثير قطر سلك اللحام على أقصى إجهاد عند قيم مختلفة لتيار اللحام وعند قيمة محددة لقوة القوس لكل شكل على انفراد. هذه الأشكال توضح أيضا أن أقصى إجهاد يزداد مع زيادة قطر سلك اللحام.

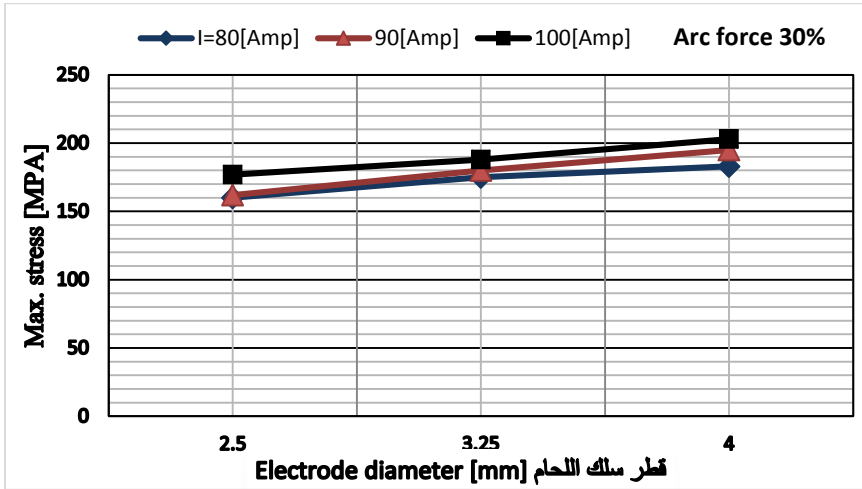


شكل 10. تأثير قطر سلك اللحام على أقصى إجهاد عند قوة القوس 10% مع تغير تيار اللحام.

إن قيمة أقصى إجهاد تزداد مع زيادة قوة القوس عند اختيار قطر سلك معين من الأقطار المختارة في البحث كما هو مبين في الأشكال (7-9)، حيث أن قيمة إجهاد الشد عند قوة القوس (30%) كما في الشكل (12) أكبر من قيمة إجهاد الشد عندما كانت قوة القوس (20%) كما في الشكل (11)، كذلك قيمة إجهاد الشد عندما كانت قوة القوس (20%) كانت أكبر من قيمة الإجهاد عندما كانت قيمة القوس (10%) كما في الشكل (10). وهذا ينطبق على نفس قطر السلك للأشكال الثلاثة (10-12)، ويمكن إرجاع السبب إلى أنه مع زيادة قوة القوس يقابلها زيادة في حوض اللحام والذي من شأنه زيادة المعدن المنصهر من سلك اللحام وزيادة اندماج معدن اللحام مع المعدن الأساسي والذي قد يتسبب في زيادة قوة وصلة اللحام وبالتالي زيادة أقصى إجهاد. مع زيادة قوة القوس عند أقطار سلك اللحام المختارة تزداد قوة الشد كما هو بالأشكال (10-12).



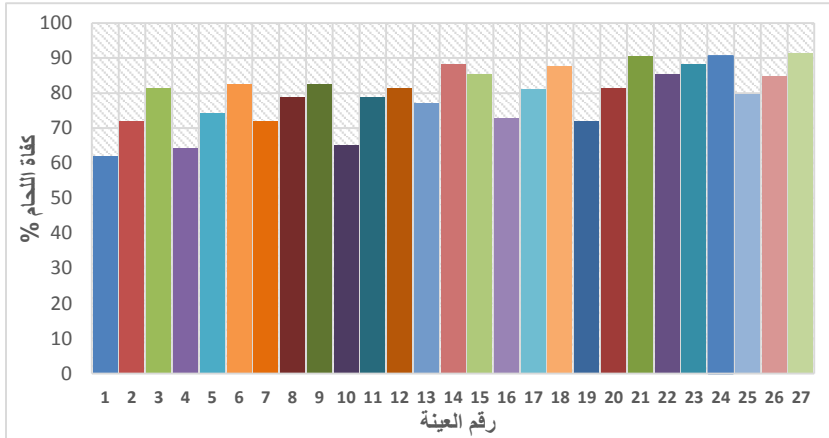
شكل 11. تأثير قطر سلك اللحام على أقصى إجهاد عند قوة القوس 20% مع تغير تيار اللحام.



شكل 12. تأثير قطر سلك اللحام على أقصى إجهاد عند قوة قوس 30% مع تغير تيار اللحام.

عموماً، من خلال التجارب (كما في الأشكال السابقة والخاصة باختبار الشد) يزداد أقصى إجهاد شد في العينات الملحومة مع زيادة تيار اللحام زيادة قليلة، ولكن تبقى جميع قيم أقصى إجهاد شد لوصلات اللحام أقل من أقصى إجهاد للعينات الغير ملحومة، ويمكن أن يرجع هذا النقصان في أقصى إجهاد إلى أنه مع زيادة التيار تزداد الفراغات بين الحبيبات، ومع زيادة حجم الحبيبات تقل قيمة أقصى إجهاد للشد (Talabi et al., 2014). وهذه النتائج توافقت مع ما ذكره كل من (Sumardiyanto & Susilowati,

(Rao et al., 2019 و 2019) بالنسبة إلى قوة القوس فإن أقصى إجهاد للشد يزداد زيادة طفيفة مع زيادة قوة القوس خاصة عند الأقطار (3.25mm, 2.5mm) بينما تكاد تكون ثابتة عند قطر سلك اللحام (4mm) وجميع هذه القيم لأقصى إجهاد الشد في وصلات اللحام أقل من أقصى إجهاد شد للعينة الغير ملحومة ويمكن أن يكون السبب راجعا إلى أنه مع زيادة قوة القوس يزداد عرض حوض اللحام وبالتالي تزداد كمية مادة اللحام والذي يؤثر إيجابيا على أقصى إجهاد للشد عند قطري قضيب اللحام (2.5mm, 3.25mm) في حين أن قوة القوس لا تؤدي إلى زيادة ذوبان معدن اللحام لقطر قضيب اللحام (4mm) ويمكن أن يكون السبب في أن هذا القطر يتطلب تيارا عاليا وقوة قوس أعلى من المستخدمة. تزداد قيمة أقصى إجهاد للشد للعينات الملحومة مع زيادة قطر قضيب اللحام بالمقارنة مع أقصى إجهاد شد للعينة الغير ملحومة، ويلاحظ أن قيمة زيادة أقصى إجهاد للشد عند استخدام قطر قضيب اللحام (4mm) تكون زيادة طفيفة عن قيمة أقصى إجهاد للشد عند استخدام قضيب لحام ذو قطر (3.25 mm). والشكل (13) يبين كفاءة أقصى إجهاد للشد لكل تجربة، بحيث كانت أقل كفاءة في إجهاد الشد في التجربة رقم (1) وكانت ظروف اللحام (2.5mm, 10%AF, 80Amp) بينما كانت أكبر كفاءة في إجهاد الشد في التجربة رقم (27) وكانت ظروف اللحام (4mm , 30%AF, 100Amp).



شكل 13. يبين كفاءة الوصلة في اختبار الشد لكل عينة من عينات اللحام بالنسبة للعينة الغير ملحومة.

5. الاستنتاجات

من خلال الفحص البصري الذي أجري على العينات الملحومة تبين وجود العديد من العيوب السطحية كالتراكب والقطع السفلي والشقوق والمسامية وضعف التغلغل وغيرها من العيوب الأخرى، وكانت أفضل نتائج الاختبار البصري ضمن عوامل لحام (100Amp, 4mm, 30%AF). وبعد إجراء الاختبارات



وجدنا أن قيمة أقصى إجهاد للشد للعينة الغير ملحومة أكبر من قيمة أقصى الإجهاد في العينات الملحومة. وكلما زاد تيار اللحام زادت قيمة أقصى إجهاد للعينات. كما أن أقصى إجهاد شد للعينات 203MPa عند عوامل لحام (100Amp, 4mm, 30%AF) بكفاءة لحام (91.44%) وأدنى إجهاد للشد في العينات 138MPa عند عوامل لحام (80Amp, 2.5mm, 10%AF) وبكفاءة (62.16%).

المراجع

أولاً: قائمة المراجع باللغة العربية

جاسم، أمجد رعد؛ فهد، نسرین داخل؛ عبد الرضا، مروة محمد (2018). تأثير السرعة والتيار على عيوب اللحام للفولاذ منخفض الكربون باستخدام اللحام بالقوس المعدني والغاز الخامل. *مجلة جامعة بابل، العلوم الصرفة والتطبيقية والعلوم الهندسية*، 26(2).

حسين، عباس خماس؛ جبار، محمد مهدي؛ أحمد، سحر حسين (2010). دراسة تأثير اللحام على خواص الشد والصلادة للفولاذ الكربوني باستخدام طريقي (Arc Welding & Tig Welding). *مجلة الهندسة والتكنولوجيا*، 28(23).

ثانياً: قائمة المراجع باللغة الإنجليزية

- Abdullahi, U. (2022). Effect of Tempering Treatment on the Post-Weld Properties and Chemical Compositions of Arc-Welded Alloy Steels. *International Journal of Engineering Materials and Manufacture*, 7(4), 89-94.
- David S.A. and DebRoy T. (1992). Current Issues and Problems in Welding Science. *Science*, 257(5069), 497-502.
- Kim, I. S., Son, J. S., Park, C. E., Kim, I. J., & Kim, H. H. (2005). An investigation into an intelligent system for predicting bead geometry in GMA welding process. *Journal of Materials Processing Technology*, 159(1), 113-118.
- Lee, J. I., & Um, K. W. (2000). A prediction of welding process parameters by prediction of back-bead geometry. *Journal of materials processing technology*, 108(1), 106-113.
- Rao, T. E., Krishna, G. R., & Kumar, M. V. (2019). Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of MIG Welded Mild Steel Plates. In: *Annales de Chimie Science des Materiaux*, 43(4), 257-263.
- Sumardiyanto, D., & Susilowati, S. E. (2019). Effect of welding parameters on mechanical properties of low carbon steel API 5L shielded metal arc welds. *American Journal of Materials Science*, 9(1), 15-21.



- Talabi, S. I., Owolabi, O. B., Adebisi, J. A., & Yahaya, T. (2014). Effect of welding variables on mechanical properties of low carbon steel welded joint. *Advances in Production Engineering & Management*, 9(4), 181-186.
- Tewari, S. P., Gupta, A., & Prakash, J. (2010). Effect of welding parameters on the weldability of material. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(4), 512-516.