African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)

Online ISSN: 2957-644X

Volume 3, Issue 3, July-September 2024, Page No: 244-250

Website: *https://aaasjournals.com/index.php/ajapas/index*

معامل التأثير العربي 2023: (1.55) **SJIFactor 2023: 5.689** **ISI 2022-2023: 0.557**

تأثر الخواص الميكانيكية للفولاذ المنخفض الكربون باستخدام تقنية لحام القوس المعدني

عبد السلام رمضان دلف [1*]، عبد الله سالم القعود [2]، بالقاسم محمد الأعوج [3]، حسن عبد اللطيف مهلهل [4]، مروان خليل محمد غويلة [5]

[1،2،3،5] قسم هندسة الميكانيكا البحرية، كلية الموارد البحرية، الجامعة الأسمرية الإسلامية، زليتن، ليبيا

[3]قسم هندسة الميكانيكا، كلية الهندسة القربولي، القره بولي، جامعة المرقب، ليبيا

Mechanical Properties of Low Carbon Steel Affected by Metal Arc Welding Technique

Abdel Salam Ramadan Daleef [1*], Abdullah Salem Al-Qaoud [2], Belkasem Mohammed Alaeuj [3], Maruwan Khaleel Aghweelah [4], Hasan Abduallatif Muhalhal [5]

[1,2,3,5] Department of Marine Mechanical Engineering, Faculty of Marine Resources, Alasmarya Islamic University, Zliten, Libya, Libya

[4] Department of Mechanical Engineering, faculty of engineering, Garahbulli, Elmergeb University, Libya

[*]*Corresponding author: ab.daleef@asmarya.edu.ly*

Received: July 28, 2024	Accepted: September 07, 2024	Published: September 16, 2024

الملخص

تعد دراسة الخواص الميكانيكية لوصلات اللحام والتغير في البنية المجهرية من أهم الدراسات التي لها الأثر المباشر في الحصول على وصلات ذات جودة عالية خالية من العيوب وبكفاءة عالية خاصة عندما يمر المنتج بظروف بيئية وتشغيلية مختلفة من مكان واحد إلى آخر. من المعروف أن وصلة اللحام هي منطقة ضعف. لذا يتناول هذا البحث تأثير البنية المجهرية والخواص الميكانيكية مثل قوة الشد والصلابة للوصلات الفولاذية منخفضة الكربون المستخدمة في صناعة السفن، علماً بأن السفن في البحار والمحيطات تتعرض للعديد من الضغوطات الناتجة عن الظروف البيئية. لظروف قد تؤدي في بعض الأحيان إلى انهيارات قد تسبب خسائر بشرية ومادية. تعتبر عملية اللحام إحدى طرق ربط المعادن. يمكن تطبيقه في الحالات الصلبة والانصهار. لحام حالة التسريب، تؤثر كمية الحرارة المتولدة بشكل كبير على جودة اللحامات من وجهة نظر الخواص الميكانيكية. لدراسة هذا التأثير تم استخدام تقنيات اللحام بالقوس المعدني المغطى لحام عينات من الفولاذ منخفض الكربون. تم تقييم الخواص الميكانيكية للوصلات الملحومة باستخدام الاختبارات الميكانيكية مثل قوة الشد والصلابة وصلابة التأثير. أظهرت النتائج أن اللحام القوسي له خواص ميكانيكية جيدة مما يجعل حجم المنطقة المتأثرة بالحرارة (HAZ) أصغر وبالتالي يحصل على حجم حبيبي أصغر في هذه المنطقة مما يؤدي إلى تحسين الخصائص الميكانيكية للحامات.

الكلمات المفتاحية: فولاذ منخفض الكربون، الخواص الميكانيكية، لحام القوس المعدني، البنية المجهرية.

Abstract

Studying the mechanical properties of weld joints and the change in microstructure is one of the most important studies that have a direct impact on obtaining high-quality joints free of defects and with high efficiency, especially when the product passes through different environmental and operational conditions from one place to another. It is known that the weld joint is an area of weakness. So, this research, examines the effect of the microstructure and mechanical properties such as tensile strength and hardness of the low-carbon steel connections used in the manufacture of ships, given that ships in the seas and oceans are exposed to many stresses resulting from environmental conditions that may sometimes lead to collapses that may It caused human and material losses. The welding process is one of the joining methods of metals. It can be applied in the solid and fusion states. Infusion state welding, the amount of heat generated highly affects the quality of weldments from the mechanical properties point of view. To study this effect shielded metal arc welding techniques were used to weld low carbon steel samples. The mechanical properties of the welded joints were evaluated using mechanical tests such as tensile strength, hardness, and impact toughness. The results showed that Arc welding has good mechanical properties

which makes the size of the heat-affected zone (HAZ) smaller and thus obtains a smaller grain size in this area, which leads to improved mechanical characteristics of the welds.

Keywords: Low carbon steel; Mechanical properties; Metal arc welding, Microstructure.

مقدمة

يُعد الفولاذ منخفض الكربون من أكثر المواد المعدنية استخداماً في مختلف الصناعات الهندسية، نظراً لخصائصه الممتازة التي تجمع بين المتانة، القابلية للتشكيل، والقدرة على اللحام. يحتوي هذا النوع من الفولاذ على نسبة منخفضة من الكربون، عادةً أقل من 0.3%، مما يجعله سهل المعالجة حرارياً ويوفر خصائص ميكانيكية جيدة مقارنة بأنواع الفولاذ الأخرى ((Saadawi, et. al., 2023). لكن الخواص الميكانيكية للفولاذ المنخفض الكربون قد تتأثر بعوامل عديدة مثل المعالجة الحرارية، التبريد السريع، عمليات التشكيل، بالإضافة إلى التفاعلات مع البيئات المحيطة.

تشمل الخواص الميكانيكية التي قد تتأثر قوة الشد، المتانة، الصلادة، والليونة. تلعب هذه الخواص دوراً حاسماً في تحديد التطبيقات التي يمكن أن يُستخدم فيها الفولاذ المنخفض الكربون، سواء في البناء أو التصنيع أو الصناعات الثقيلة. على سبيل المثال، تعرض الفولاذ لدرجات حرارة مرتفعة أو عمليات تبريد سريعة يمكن أن يغير من بنيته الميكروية، مما يؤدي إلى تغييرات في الصلابة والمرونة (Ron, et. al., 2019).

وفقاً للدراسات الحديثة، فإن التطورات في المعالجة الحرارية وتكنولوجيا السبائك قد ساعدت على تحسين الأداء الميكانيكي للفولاذ المنخفض الكربون. ومع ذلك، تبقى هناك تحديات تتعلق بتأثيرات البيئة الخارجية مثل التآكل، والإجهاد، الذي قد يقلل من عمر هذا النوع من الفولاذ

الفولاذ الكربوني هو نوع من الفولاذ يتكون أساساً من الحديد والكربون كعنصر رئيسي للتقوية. يتم تصنيف الفولاذ الكربوني بناءً على محتواه من الكربون إلى ثلاث فئات رئيسية (Rafieazad, et. al., 2019): الفولاذ منخفض الكربون (أقل من 0.3% كربون)، حيث يستخدم بشكل واسع في التطبيقات التي تتطلب ليونة عالية وقابلية للتشكيل، والفولاذ متوسط الكربون (0.3%-0.6% كربون)، والذي يتميز بتوازن جيد بين الصلابة والمرونة، ويستخدم في التطبيقات التي تتطلب قوة أعلى، والفولاذ عالي الكربون (أكثر من 0.6% كربون)، حيث يتميز بصلابة عالية ويستخدم في التطبيقات التي تتطلب مقاومة عالية للتآكل والاحتكاك. إلى جانب الكربون، قد يحتوي الفولاذ الكربوني على بعض العناصر الأخرى بكميات صغيرة مثل (Timings, 2008; and Callister & Rethwisch, 2010): المنغنيز (Mn) الذي يزيد من الصلابة ويعزز المتانة، والسيليكون (Si) وهو يحسن القوة والمرونة، والفوسفور (P) والكبري (S) ؛ فقد يكون وجودهما غير مرغوب فيه بكميات كبيرة، حيث يؤدي إلى ضعف الأداء.

الفولاذ الكربوني يعد من المواد الهندسية المهمة في مجموعة واسعة من التطبيقات الصناعية بسبب قوته، صلابته، ومرونته؛ فمن أهم استخدامات الفولاذ الكربوني في صناعة الهياكل المعدنية للمباني والجسور، حيث يتطلب الأمر مادة ذات ليونة عالية وقابلية للتشكيل، وفي صناعة الأنابيب المستخدمة لنقل النفط والغاز والسوائل، نظرًا لمقاومته العالية للتآكل والضغوط العالية، وُستخدم الفولاذ متوسط الكربون في تصنيع هياكل السيارات وأجزاء أخرى مثل الأعمدة والمحاور التي تتطلب صلابة أعلى لمقاومة الأحمال والاهتزازات، ويُستخدم الفولاذ عالي الكربون في صناعة الأدوات الصناعية مثل السكاكين، شفرات المناشير، وأدوات القطع بسبب صلابته العالية ومقاومته للتآكل، ويستخدم الفولاذ متوسط وعالي الكربون في صناعة قضبان السكك الحديدية والأجزاء المتحركة التي تتطلب مقاومة عالية للتآكل والاحتكاك، ونظراً لمتطلبات القوة والصلابة العالية، ويتم استخدام الفولاذ الكربوني عالي الكربون في صناعة التروس والمحاور التي تتعرض لقوى كبيرة في الأنظمة الميكانيكية (Dieter, 2020).

يتمتع الفولاذ الكربوني بقوة شد ممتازة، مما يجعله مناسبًا للتطبيقات التي تتطلب متانة وقوة كبيرة، وتعتبر تكلفة منخفضة نسبياً مقارنة بالسبائك الأخرى، ويعد الفولاذ الكربوني أقل تكلفة، مما يجعله اختيارا اقتصادياً للكثير من التطبيقات الصناعية، كما أن قابليته للتشكيل واللحام خاصة الفولاذ منخفض الكربون، مما يتيح استخدامه في العديد من الصناعات الهندسية (Hosford, 2019).

عملية اللحام هي تقنية شائعة تستخدم لربط المعادن أو السبائك معاً، إما باستخدام الحرارة أو الضغط، أو كليهما معاً، لتكوين وصلة دائمة بين الأجزاء. اللحام هو أحد الأساليب الأساسية في التصنيع والهندسة الميكانيكية التي تتيح بناء هياكل قوية ومتينة.

ركزت الدراسة الحالية على لحام القوس المعدني وهو تقنية فعالة ومستخدمة على نطاق واسع في ربط الفولاذ المنخفض الكربون، ولكنه يتسبب في تغيير الخواص الميكانيكية للمادة في مناطق اللحام. يؤدي هذا إلى تغيرات في البنية المجهرية، مما قد يؤثر على المتانة، مقاومة الشد، والصلابة. مع ذلك، يمكن تحسين هذه الخواص من خلال التحكم الدقيق في ظروف اللحام واستخدام المعالجات الحرارية المناسبة بعد اللحام. تعد هذه التحسينات ضرورية لضمان الأداء الفعّال للفولاذ المنخفض الكربون في التطبيقات الصناعية التي تتطلب موثوقية عالية وخصائص ميكانيكية ممتازة. ومع ذلك، يمكن أن يؤدي تعرض الفولاذ لدرجات حرارة عالية أثناء عملية اللحام إلى تغيير في خواصه الميكانيكية مثل الصلابة، مقاومة الشد، والمتانة (Lancaster, 2022).

ومن هذا المنطلق تبحث الدراسة الحالية في تأثير عملية اللحام بالانصهار لعينة من الفولاذ المعدني من الترسانة البحرية بتقنية القوس الكهربائي المعدني وتأثيرها على الخواص الميكانيكية للوصلات الملحومة في الفولاذ المعدني المنخفض الكربون، بهدف تحسين خصائص اللحام بناءً على الاختبارات الميكانيكية التقليدية.

2. المواد والطرق

السبيكة المستخدمة:

تم في هذا البحث جلب عينات من الترسانة البحرية في مدينة الخمس، وبعد إجراء عمليات تهيئة للعينة وإجراء التحليل الكيميائي في مصنع الحديد والصلب مصراته بواسطة جهاز **(**Spectro Meter**)** لتحديد مكوناتها المعدنية. وتم الحصول على النتائج المبينة بالجدول (1).

جدول 1. التركيب المعدني للسبيكة (الفولاذ منخفض الكربون) قيد الدراسة (%نسبة مئوية وزنية).

حديد Fe	كربون C	منجنيز Mn	سيلكون Si	فوسفات P	كبريت S	نيكل Ni	تيتانيوم Ti	نحاس Cu	مولبيديوم Mo
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
98.580	0.1830	0.9450	0.0220	0.0360	0.0147	0.0233	0.0007	0.0608	0.00618

تجهيز وصلات اللحام وتهيئتها لعملية اللحام

تم تجهيز وتحضير وصلة اللحام حسب المواصفات القياسية الخاصة بذلك. بعد عملية قطع العينات قمنا بتهيئتها لعملية اللحام وذلك بعمل زوايا للمعدن حسب المواصفات المطلوبة ويوضح الرسم طريقة تجهيز وصلة اللحام. وتم تحضير وتجهيز العينة حسب المواصفات المبينة في الجدول (2).

جدول 2. مواصفات عينة اللحام.

نوع الوصلة	وضع اللحام	فجوة الجدر	وجه الجدر	خط اللحام	زاوية الشطب
Vعلي شكل	أفقي	2 مم	2 مم	90º	45 º

حيث تمت تهيئة ثلاث عينات لكل نوع من اللحام في اختبار الشد وثلاثة في اختبار الصدم، وعينتان لتجري عليهما الاختبارات غير الهدامة؛ لكي نتحصل على عدد أكبر من التجارب ومنها على نتائج أدق وأوضح، والشكل (1) يوضح العينات المستخدمة في الدراسة.

شكل 1. العينات المجهزة لاختبارات الشد والصدم.

اللحام بالقوس الكهربائي:

بعد تجهيز العينة لإجراء عملية اللحام وتشغيل ماكينة اللحام نقوم بتركيب الالكترود نوع E6013 ذو المواصفات المبينة بالجدول (3) ونقوم بإجراء اللحام على عدة خطوط لحام وفي نهاية كل خط لحام نقوم بالطرق بمطرقة حديدية مذببة والتنظيف بفرشة معدنية لإزالة الخبث الناتج من عملية اللحام وتكرار العملية إلى أن يمتلئ المكان المراد لحمه بين القطعتين ومن ثم تترك في درجة حرارة الغرفة حتى تبرد. الشكل (2) يوضح كيفية إجراء التجربة.

جدول 3. مواصفات الإلكترود المستخدم في لحام ARC (% نسبة مئوية وزنية).

C	Mn	S	P	Si	Cr	Ni
%	%	%	%	%	%	%
≤ 0.12	0.3 - 0.6	≤ 0.035	≤ 0.04	≤ 0.35	-	-

شكل 2. طريقة اللحام بالقوس الكهربي.

الاختبارات غير الهدامة:

تم إجراء عدد من الاختبارات غير الهادمة على عينات اللحام التي تم إجراؤها وهي (اختبار الكشف بالسوائل النفاذة، الكشف باستخدام المجال المغناطيسي، الكشف باستخدام الأشعة السينية. وتم إجراؤها جميعا في معامل المركز المهني المتقدم لتقنيات اللحام بطرابلس.

الاختبارات الهدامة:

اختبار الشد (Tension Test):

لتحديد خواص الشد قمنا بإجراء اختبار الشد على عدد ثلاثة من العينات (قبل اللحام وبعده) مأخوذة من المادة المطلوب اختبارها، وأجري الاختبار لكل العينات طبقاً لمواصفة الشد المتبعة أثناء الاختبار ASTM E8M، وتَتبع الخطوات بعد قطع وتشغيل العينة طبقا للأبعاد والشكل المطلوبين في المواصفة كما في الشكل (3).

شكل 3. عينة اختبار الشد.

اختبار الصدم (Impact Test):

تم تحديد متانة المادة (Toughness) وهي خاصية مقاومة المعدن للكسر عند تعرضه للإجهادات المفاجئة ويعطي الفحص تصور عن الطاقة المصروفة لكسر العينة وكذلك مدى تأثير وجود التشققات على مقاومة المادة المتعرضة لحمل صدمة (تأثير الحز). تم إجراء الاختبار للعينة الأساس والعينة الملحومة بتقنية القوس الكهربائي.

اختبار روكويل للصلادة (Rockwell Scale):

استخدم الاختبار لقياس مدى مقاومة المعدن للخدش. تم إجراء الاختبار للعينة الأساس والعينة الملحومة بتقنية القوس الكهربائي.

فحص البنية المجهرية (Examinassions of Microstructure) :

أجريت عملية تحضير العينات لغرض فحص البنية المجهرية وتصوير العينات. حيث تم الفحص المجهري لمناطق مختلفة من العينات لمعدن الأساس والمنطقة المتأثرة باللحام ومنطقة اللحام بتقنية بالقوس الكهربي.

النتائج والمناقشة

من خلال إجراء عملية اللحام والاختبارات المذكور آنفا. أظهرت نتائج الكشف الغير هدامة الموضحة في الاختبارات المذكورة سابقاً خلو معظم العينات من العيوب. حيث يبين الجدول (4) متوسط نتائج اختبارات الشد قبل وبعد عملية اللحام للعينات. ويتبيّن أن قيمة الحمل المسلط على العينة الملحومة ازداد عن قيمة الحمل عند المعدن الأساس، حيث أن أقصى حمل تتحمله وصلة اللحام الملحومة بالقوس الكهربي كبيرة حيث بلغت 9,300 كجم، بينما قيم الإجهاد لم تتغير وكانت 373 نيوتن/مم^2. حيث إن نتائج الاختبار لوصلة اللحام الملحومة بطريقة القوس الكهربائي كانت مقاربة جداً للمعدن الأساس وهذه النتيجة تعطي وثوقيه في هذه الوصلة أثناء التشغيل.

جدول 4. متوسط نتائج اختبار الشد قبل وبعد عملية اللحام.

Type	Density 7.85/cm^3		Area (mm)^2	Gauge Length (mm)	Yield Point		Ultimate		Elongation
	T (mm)	W (mm)			Load (kg)	Y.S (N/mm^2)	Load (kg)	U.T.S (N/mm^2)	New Length (mm)
Base	10.25	19.9	203.5	81	-	-	8900	373	95
Arc	12.2	20.05	244.6	90	-	-	9300	373	95

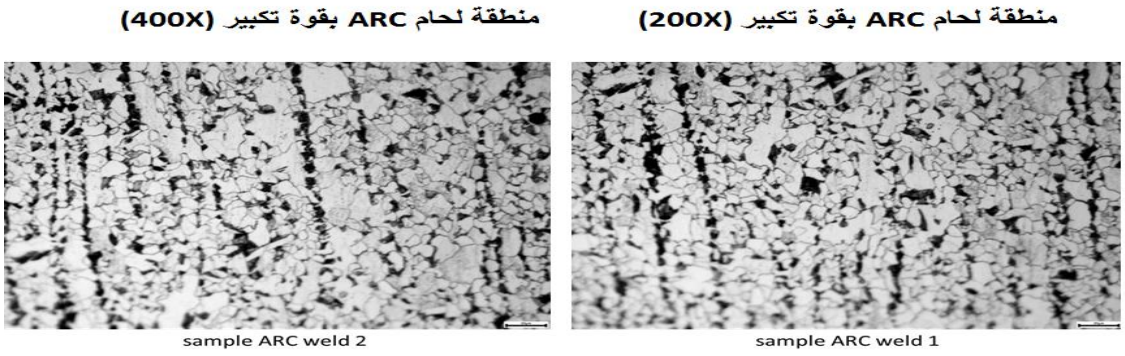
من المتعالاف عليه أن اختبار الصدم يوضح مدى مقاومة المعدن للطرق والانهيار بسبب الإجهادات العالية وظروف التشغيل الصعبة، ومن خلال نتائج اختبار الصدم تبين أن القيمة لوصلة اللحام الملحومة بطريقة القوس الكهربائي انخفضت قليلاً مقارنة بالمعدن الأساس حيث سُجلت عند قيم 83.6 و107.8 جول لكل من الوصلة الملحومة وللمعدن الأساس على التوالي.

والجدول (5) يوضح نتائج اختبار الصلادة للمعدن الأساس والمعدن الملحوم. حيث أنه من المتعارف عليه أن الصلادة هي مقاومة المعدن للخدش، ومن خلال نتائج اختبار الصلادة تبين أن وصلة اللحام الملحومة بالقوس الكهربي ارتفعت قيمة الصلادة فيها بقيمة كبيرة بسبب التحسن في البنية المجهرية مقارنة بالمعدن الأساس.

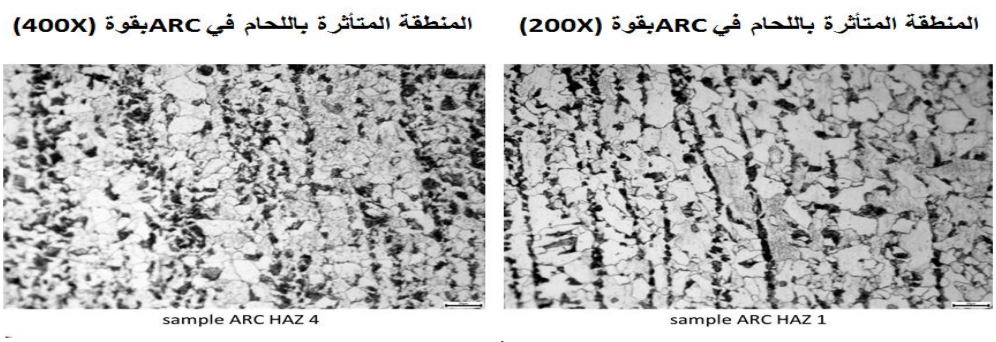
جدول 5. متوسط نتائج اختبار الصلادة قبل وبعد عملية اللحام.

Type	Test 1	Test 2	Test 3	Average (HRB)
Base	74	76	76	75.333
Arc	89	89	88	88.667

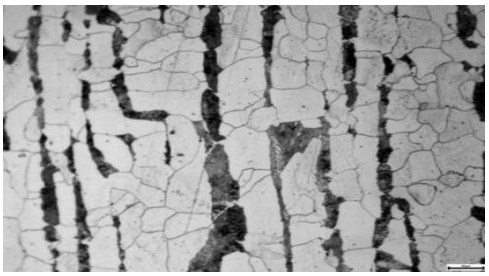
تم إجراء الفحص المجهري لمناطق مختلفة من العينات للمعدن الأساس والمنطقة المتأثرة باللحام ومنطقة اللحام وأظهرت الفحوصات المجهرية بالشكل (4) لمنطقة لحام القوس الكهربائي إلى أن منطقة اللحام تكون ذات بنية جيدة التوزيع في حبيباتها ومتجانسة التوزيع والمحاور في جميع الاتجاهات، بينما تحافظ المنطقة المتأثرة بحرارة اللحام (HAZ) على حبيباتها والمبينة بالشكل (5) إلا أنها تتعرض للنمو وإعادة الانتشار والتشكل، ويزداد حجم هذه الحبيبات كلما ابتعدنا عن منطقة اللحام لتعطي مؤشراً على وجود مناطق إعادة تبلور وصولاً للمعدن الأساس الذي تكون بنيته على شكل حبيبات موزعة طوليا بشكل مجرى غير متساوي المحاور والمبينة بالشكل (6).



شكل 4. صور مجهرية لمنطقة اللحام بالقوس الكهربائي.



شكل 5. صور مجهرية للمنطقة المتأثرة بحرارة اللحام بالقوس الكهربائي.



شكل 6. صور مجهرية للمعدن الأساس.

حيث يتبين من الشكل (4) أن الطبقة البيضاء اللون هي الفيرايت والتي تُكون أرضية وأساس للتكوين، حيث أن درجة الحرارة العالية تؤدي إلى فقدان الكربون من الطبقة السطحية للمعدن الأساس، ويحدث إعادة انتشار للعناصر خلال المعدن ليعطي توزيعاً جديداً وبالمقابل يكون توزيع العناصر الكيميائية الأخرى بشكل متساوي نوعاً ما، حيث يظهر تكوين سمنتايت برلايتي (لون رصاصي مائل للأسود) والبرلايت (ذو اللون الرصاصي) بشكل دقيق خلال البنية الهيكلية للفرايت.

وتشير النتائج المتحصل عليها بشكل عام إلى تحسن في خواص الشد وزيادة في الصلادة في وصلات لحام القوس، ويمكن أن يُعزى إلى تكون الفرايت عند المكتنفات المعدنية (Inclusions)، حيث أدى التسخين إلى درجات حرارة عالية إلى فقدان الكربون من الطبقة السطحية وإعادة انتشاره خلال المعدن ليعطي توزيعاً دقيقاً وبالتالي زيادة الصلادة كما مبين في صور البنية المجهرية بالشكل (4) حيث يلاحظ أن أكثر البنية متكون من أرضية من الفرايت (اللون الأبيض)، أي أن وصلات لحام القوس الكهربائي أدت إلى تحسن واضح في بعض الخواص الميكانيكية كمقاومة الشد والصلادة مقارنة مع عينة المعدن الأساس غير الملحومة وذلك نتيجة تكون الفرايت، الذي يتكون عند مراكز الشوائب (المكتنفات المعدنية) وهذا ما أشارت إليه نتائج دراسة (Akca & Karaaslan, 2008).

الخاتمة:

تشير الدراسة إلى أن تقنية لحام القوس المعدني تؤثر بشكل ملحوظ على الخواص الميكانيكية للفولاذ منخفض الكربون. على الرغم من أن قوة الشد قد تحسنت، إلا أن الانخفاض في الصلادة والمتانة يشير إلى تأثير سلبي على مرونة المادة ومقاومتها للصدمات. يتطلب استخدام لحام القوس المعدني في التطبيقات الهندسية الدقيقة دراسة معمقة لتأثيراته على الخواص الميكانيكية، خاصة في الحالات التي يكون فيها مقاومة الصدمات أمرًا حاسما.

توصلت الدراسة إلى جملة من الاستنتاجات والتوصيات أهمها:

أولاً: النتائج

1. من خلال إجراء الاختبارات على وصلات اللحام الملحومة بطريقة القوس الكهربائي لفولاذ الكربون منخفض الكربون لعينة من الترسانة البحرية للسفن وجدنا أن هنالك تحسن الخواص الميكانيكية لوصلة اللحام الملحومة بطريقة القوس الكهربائي والمتمثلة في الشد والصلادة.
2. وبينت النتائج تحسن البنية المجهرية لوصلات اللحام الملحومة وكانت ذات بنية جيدة التوزيع في حبيباتها وتمتاز بصغر حجم الحبيبات مما أدى إلى تحسن الخواص الميكانيكية. لذا فإن استخدام تقنية اللحام بالقوس الكهربائي المعدني لهذا النوع من الفولاذ جيد وآمن.
3. ظهرت العينات الملحومة زيادة في قوة الشد مقارنةً بالعينات غير الملحومة. ويرجع ذلك إلى التصلب الناتج عن اللحام في منطقة الوصلة، والذي أدى إلى زيادة قدرة المادة على تحمل القوى الخارجية.
4. انخفضت الصلادة قليلاً في منطقة اللحام مقارنةً بالمناطق الأخرى. يُعزى هذا الانخفاض إلى تأثير الحرارة أثناء اللحام، والذي أدى إلى حدوث تغييرات في البنية المجهرية للفولاذ.

5. أظهرت العينات الملحومة انخفاضًا في المتانة، حيث أصبحت أكثر عرضة للتشقق تحت تأثير الصدمات. يرتبط هذا الانخفاض بظهور البرلايت والمارتنسيت في البنية المجهرية، مما يزيد من هشاشة الفولاذ في تلك المنطقة.

ثانياً: التوصيات

1. ضرورة البحث في تطوير تقنيات لحام تُقلل من التأثيرات السلبية على الصلادة والمتانة في الفولاذ منخفض الكربون.
2. يمكن أن تساعد المعالجة الحرارية بعد اللحام في تحسين البنية المجهرية وتقليل التأثيرات السلبية على الخواص الميكانيكي.
3. يمكن أن يؤدي استخدام معادن مضافة أثناء اللحام إلى تحسين الخواص الميكانيكية للفولاذ وزيادة مقاومته للتآكل.
4. يُوصى بإجراء المزيد من الاختبارات لتحليل تأثيرات اللحام على الفولاذ في ظروف بيئية مختلفة، مثل درجات الحرارة العالية والرطوب.

قائمة المراجع:

[1] Akca, C., & Karaaslan, A. (2008). Weldability of class 2 armor steel using gas tungsten arc welding. Archives of Materials Science and Engineering, 34(2), 110-112.

[2] Boumerzoug, Z., Derfouf, C., & Baudin, T. (2010). Effect of welding on microstructure and mechanical properties of an industrial low carbon steel. Engineering, 2(7), 502.

[3] Callister Jr, W. D. & Rethwisch, D. (2010). Materials Science and Engineering: An Introduction, 8th ed. John Wiley & Sons, Inc.

[4] Čičo, P., Kalincová, D., & Kotus, M. (2011). Effect of Welding on Microstructure and Mechanical Properties of an Industrial Low Carbon Steel. Res. Agr. Eng., 57, special Issue, S50–S56.

[5] Dieter, G. E. (2020). Mechanical Metallurgy. McGraw-Hill Education.

[6] Grover, P. M. (2013). Fundamental of Modern Manufacturing, 5th ed. John Wiley & Sons Inc.

[7] Hosford, W. F. (2019), Mechanical Behavior of Materials. Cambridge University Press.

[8] Lancaster, J. F. (2022). The Physics of Welding. Pergamon Press.

[9] Llewellyn, D. T. & Hudd, R. C. (1998). Steel: Metallurgy and Applications, 3rd ed. Butterworth-Heinemann.

[10] Rafieazad, Mehran, Mahya Ghaffari, Alireza Vahedi Nemani, and Ali Nasiri. "Microstructural evolution and mechanical properties of a low-carbon low-alloy steel produced by wire arc additive manufacturing."The International Journal of Advanced Manufacturing Technology105 (2019): 2121-2134.

[11] Ron, Tomer, Galit Katarivas Levy, Ohad Dolev, Avi Leon, Amnon Shirizly, and Eli Aghion (2019), Environmental behavior of low carbon steel produced by a wire arc additive manufacturing process, Metals9, no. 8 (2019): 888

[12] Saadawi, H. Ali, Daw, Adel M., and Eshabani, Hesham R. (2023), Anisotropy of Microstructure and Mechanical Properties in Low Carbon Steel Plates Additively Manufactured Using Gas Metal Arc Welding, African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS), Volume 2, Issue 3, July – September 2023, Volume 2,Issue 3,July-September2023, Page No: 296-308.

.