Afro-Asian Journal of Scientific Research (AAJSR)
المجلة الأفروآسيوية للبحث العلمي (AAJSR)
E-ISSN: 2959-6505
Volume 2, Issue 3, July - September 2024, Page No: 337-346
Website: https://www.aajsr.com

SJIFactor 2023: 3.908 **معامل التأثير العربي (AIF) 2023: 0.51** **ISI 2023: 0.337**

تقييم تأثير لحام القوس المحجب بالغاز الخامل على الخواص الميكانيكية للفولاذ منخفض الكربون

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

[1،2،3،4]قسم هندسة الميكانيكا البحرية، كلية الموارد البحرية، الجامعة الأسمرية الإسلامية، زليتن، ليبيا
[5]قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة القربولي، جامعة المرقب، ليبيا

Assessing the Impact of Metal Inert Gas Welding on Low

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

[1,2,3,4] Department of Marine Mechanical Engineering, Faculty of Marine Resources, Alasmarya Islamic University, Zliten, Libya
[5] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Garahbulli, Elmergeb University, Libya

*Corresponding author ab.daleef@asmarya.edu.ly *المؤلف المراسل

تاريخ الاستلام: 2024-07-16 **تاريخ القبول:** 2024-08-25 **تاريخ النشر:** 2024-09-22

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم تأثير لحام القوس المحجب بالغاز الخامل (MIG) على الخواص الميكانيكية للفولاذ منخفض الكربون. تم إجراء اختبارات على عينات من الفولاذ قبل وبعد عملية اللحام لتحديد مدى تأثير هذه التقنية على خصائص مثل قوة الشد، الصلادة، والمقاومة ضد الصدمات. أظهرت النتائج أن لحام القوس المحجب بالغاز الخامل يؤدي إلى تحسن طفيف في قوة الشد ومقاومة الصدمات، بينما أظهرت الصلادة انخفاضاً طفيفاً نتيجة التغيرات في البنية المجهرية. قدمت الدراسة توصيات حول كيفية تحسين أداء اللحام للحفاظ على توازن مثالي بين الخواص الميكانيكية والاقتصادية للفولاذ المستخدم في التطبيقات المختلفة، كما كشفت الصور المجهرية تغيرات في تشكيل الحبيبات، مما قد يؤثر على أداء الفولاذ في التطبيقات التي تتطلب خصائص ميكانيكية محددة.

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

Aabstract

This study aimed to evaluate the impact of Metal Inert Gas (MIG) welding on the mechanical properties of low carbon steel. Tests were conducted on steel samples before and after the welding process to determine the extent of this technique's effect on properties such as tensile strength, hardness, and impact resistance. The results showed that MIG welding leads to a slight improvement in tensile strength and impact

resistance, while hardness slightly decreased due to changes in the microstructure. The microscopic images revealed that there are changes in grain structure, which may affect the performance of the steel in applications requiring specific mechanical properties.

Keywords: Low carbon steel; Mechanical properties; Shielded metal arc welding; Microstructure.

المحور الأول: مقدمة

ساهم التقدم التكنولوجي والحاجة إلى إنتاج هيكل فولاذي قوي إلى جعل اللحام هو الخيار الأول في عملية ربط الفولاذ، حيث يتضمن البناء الفولاذي العديد من عناصر اللحام. ويرجع ذلك إلى حقيقة أن اللحام هو أحد تقنيات ربط المعادن السهلة التنفيذ، كما يستخدم اللحام على نطاق واسع في بناء السفن والجسور والهياكل الفولاذية وما إلى ذلك. (Husaini, Ali, Hamza, & Sofyan, 2019).

وتعد عملية اللحام أحد الوسائل الدائمة لربط قطعتين أو أكثر من المعدن عن طريق اندماج موضعي ناتج عنه مزيج مرغوب فيه من درجة الحرارة والضغط والحالة المعدنية، لذلك يتم استخدام نظام التحكم في اللحام القوسي لأنه يساعد في إزالة الكثير من "التخمينات" التي يستخدمها اللحامون غالباً لتحديد معلمات اللحام لمهام معينة، وتؤثر هذه المعلمات بشكل كبير على الخصائص الميكانيكية الملحومة (Didit Sumardiyanto & Sri Endah Susilowati, 2019).

أما قابلية اللحام تعكس قدرة المادة على اللحام، وهي مؤشر لقدرة المادة الملحومة على الحفاظ على نفس الخواص الميكانيكية بعد اللحام مقارنة بالمعادن الأساسية. تتمتع الفولاذ منخفض الكربون عموماً بقابلية لحام جيدة، فكلما زاد محتوى الكربون، انخفضت قابلية اللحام، مما يجعل محتوى الكربون المنخفض لديه القدرة على تكوين طور مارتنسيت في منطقة التأثر بالحرارة المنخفضة، لذلك يسهل لحام العديد من الفولاذ منخفض الكربون. يمكن استخدام العديد من تقنيات اللحام بالاندماج والحالة الصلبة لتوصيل الأجزاء الميكانيكية المصنوعة من الفولاذ منخفض الكربون، مثل لحام القوس المعدني المحمي (SMAW)، ولحام الغاز الخامل المعدني (MIG)، ولحام الغاز الخامل بالتنغستن، ولحام الغاز (Ismael, 2022).

وتُسهم دراسة تأثير اللحام على المعادن من حيث الخواص الفيزيائية والميكانيكية والتركيب الكيميائي على تسليط الضوء على العوامل التي تؤثر في البنية المجهرية لوصلة اللحام، مثل الدورة الحرارية والتفاعلات الكيميائية في المنطقة المنصهرة والعناصر السبائكية.

كما تُسهم في التركيز على تجنب الشروخ والشقوق التي قد تظهر كعيوب في وصلات اللحام (Ogbunnaoffor et al., 2016). لذا تولى هذا الموضوع اهتماماً كبيراً لضمان جودة وقوة الوصلات الملحومة، وضمان استدامة الخواص الميكانيكية للمواد. ومن هذا المنطلق تبحث الدراسة الحالية في تأثير لحام القوس المحجب بالغاز الخامل على الخواص الميكانيكية للفولاذ منخفض الكربون من الترسانة البحرية بمدينة الخمس، بهدف تحسين خصائص اللحام بناءً على الاختبارات الميكانيكية التقليدية.

المحور الثاني: تعريف لحام القوس المحجب بالغاز الخامل (MIG)

لحام القوس المحجب بالغاز الخامل (Metal Inert Gas Welding - MIG) هو عملية لحام تستخدم فيها الكهرباء لإنشاء قوس كهربائي بين القطب المعدني (السلك اللحامي) والمعدن الأساسي. يقوم هذا القوس بإذابة كلا المعدنين لتشكيل وصلة قوية بينهما. يتم حماية المنطقة الملحومة من الهواء الجوي بواسطة غاز خامل مثل الأرجون أو خليط من الغازات، مما يمنع الأكسدة ويؤدي إلى لحام نظيف وفعال. يتم تغذية سلك اللحام بشكل مستمر من خلال مسدس اللحام، ما يجعل العملية تلقائية وسريعة مقارنةً بالطرق التقليدية الأخرى. يعتبر لحام القوس المحجب بالغاز الخامل (MIG) أحد أكثر طرق اللحام شيوعاً وسهولة في الاستخدام، خاصة في التطبيقات الصناعية والهندسية (Howard, & Helzer, 2018).

المحور الثالث: دور لحام القوس المحجب بالغاز الخامل (MIG) في الصناعة

يلعب لحام القوس المحجب بالغاز الخامل (MIG) دوراً حيوياً في العديد من الصناعات بفضل مزاياه المتعددة التي تشمل (David, 2013):

1. الكفاءة العالية: يُعتبر MIG من أكثر تقنيات اللحام كفاءةً بفضل التغذية المستمرة للسلك، مما يقلل من الوقت اللازم لإيقاف العملية وإعادة تغذية المواد. هذا يجعله مناسباً للتطبيقات الكبيرة التي تتطلب لحامات مستمرة.
2. الاستخدام الواسع: يمكن استخدام تقنية MIG في لحام مجموعة متنوعة من المعادن مثل الفولاذ، الألومنيوم، الفولاذ المقاوم للصدأ، والمعادن الأخرى، مما يجعلها متعددة الاستخدامات في صناعات مختلفة.
3. الجودة العالية: بفضل استخدام الغاز الخامل لحماية منطقة اللحام من التلوث بالأكسجين أو الرطوبة، يمكن إنتاج لحامات عالية الجودة وخالية من العيوب الشائعة مثل الفراغات أو التشققات.
4. تطبيقات متعددة: تُستخدم تقنية MIG في صناعة السيارات، بناء الهياكل المعدنية، تصنيع السفن، والصناعات الثقيلة. في صناعة السيارات، على سبيل المثال، تُستخدم تقنية MIG لربط الهياكل المعدنية للأجزاء المختلفة، بينما في الصناعة البحرية تُستخدم لتصنيع الهياكل البحرية المقاومة للتآكل.
5. تكلفة منخفضة: على الرغم من استخدام معدات متقدمة في اللحام بتقنيةMIG ، إلا أن العملية نفسها فعّالة من حيث التكلفة بسبب السرعة العالية والكفاءة التي تقدمها، مما يقلل من الحاجة إلى إعادة العمل أو إصلاح العيوب.

المحور الرابع: أهمية الفولاذ منخفض الكربون في التطبيقات الصناعية:

يُعد الفولاذ منخفض الكربون من أكثر المواد الهندسية استخداماً في العديد من التطبيقات الصناعية بسبب خصائصه المتميزة التي تجمع بين التكلفة المنخفضة وسهولة التشكيل واللحام، وهو الأمر الذي يجعله مناسباً لعدد واسع من الصناعات. يحتوي الفولاذ منخفض الكربون عادةً على نسبة كربون تتراوح بين 0.05% إلى 0.3%، مما يجعله أقل صلابة من الأنواع الأخرى من الفولاذ ولكنه يتميز بمرونة أعلى وقدرة أفضل على تحمل الانفعالات المختلفة. ويمكن إيجاز أهميته في الآتي (Davis , 2021):

1. سهولة التشكيل واللحام:

يتميز الفولاذ منخفض الكربون بقابلية عالية للتشكيل سواء بالطرق أو الدرفلة، بالإضافة إلى قدرته على اللحام باستخدام تقنيات متعددة مثل لحام القوس المعدني المحجب بالغاز (MIG) . هذه الميزات تجعله خياراً مفضلاً في الصناعات التي تتطلب تصنيع مكونات معقدة أو التي تحتاج إلى وصلات ملحومة.

2. التكلفة المنخفضة:

تعد التكلفة المنخفضة للفولاذ منخفض الكربون واحدة من أهم الأسباب التي تجعله مادة مفضلة في الصناعات المختلفة. نظراً لاحتوائه على كمية قليلة من الكربون وغياب العناصر السبائكية باهظة الثمن مثل النيكل والكروم، فإنه يمكن إنتاجه بتكلفة أقل مقارنة بالأنواع الأخرى من الفولاذ السبائكي (أبوزهرة، 2019).

3. الاستخدام في الهياكل الهندسية:

بفضل خصائصه الميكانيكية المتوازنة، يستخدم الفولاذ منخفض الكربون على نطاق واسع في الصناعات الهندسية مثل صناعة الهياكل المعدنية والجسور والمباني. يتميز بقوة شد متوسطة تتراوح بين 400 و550 ميجا باسكال، مما يجعله مناسباً لتحمل الأحمال الإنشائية دون أن يصبح هشا (Baik & Kang, 2020).

4. الاستخدام في صناعة السيارات:

يُستخدم الفولاذ منخفض الكربون بشكل كبير في صناعة السيارات، حيث يتم استغلال مرونته وسهولة تشكيله في تصنيع الأجزاء المختلفة من الهياكل والهيئات الخارجية للمركبات. خصائصه

تجعل من السهل تشكيله في قوالب معقدة دون الحاجة إلى عمليات تسخين إضافية مكلفة (Bowland & Yussen, 2019).

5. القدرة على المعالجة السطحية لتحسين مقاومة التآكل

رغم أن الفولاذ منخفض الكربون يعاني من مقاومة ضعيفة للتآكل، إلا أنه يمكن تحسين هذه المقاومة عن طريق عمليات المعالجة السطحية مثل الجلفنة أو الطلاء بطبقة من الزنك. تستخدم هذه المعالجة بشكل خاص في الصناعات التي تتطلب مقاومة للتآكل مثل صناعة الأنابيب والهياكل البحرية ((Paunedi & Devendra, 2022).

المحور الخامس: الطرق والمواد

1. السبيكة المستخدمة

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

جدول (1): العناصر التي تدخل في هذه السبيكة.

حديد Fe	كربون C	منجنيز Mn	سيلكون Si	فوسفات P	كبريت S	نيكل Ni	تيتانيوم Ti	نحاس Cu	مولبيديوم Mo
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
98.58	0.183	0.945	0.022	0.036	0.0147	0.0233	0.0007	0.0608	0.00618

2. تجهيز وصلات اللحام

تجهيز وتحضير وصلة اللحام حسب المواصفات القياسية الخاصة بذلك.

أولاً: معدات تهيئة العينات لعملية اللحام

بعد عملية قطع العينات تم تهيئتها لعملية اللحام وذلك بعمل زوايا للمعدن حسب المواصفات المطلوبة ويوضح الشكل (1) طريقة تجهيز وصلة اللحام.

شكل (1): عينات اختبار الشد والصدم.

تم تحضير وتجهيز العينة حسب المواصفات المبينة في الجدول رقم (2).

جدول (2): مواصفات عينة اللحام.

نوع الوصلة	وضع اللحام	فجوة الجدر	وجه الجدر	خط اللحام	زاوية الشطب
علي شكل V	أفقي	2mm	2mm	90°	45°

تمت تهيئة ثلاثة عينات في اختبار الشد وثلاثة في اختبار الصدم، وعينتان لتجري عليهما الاختبارات الغير هدامة NDT . لكي نتحصل على عدد أكبر من التجارب ومنها على نتائج أدق وأوضح، والشكل رقم (1) يوضح العينات المستخدمة في البحث.

ثانياً: إعداد معدة اللحام بالقوس المحجب بالغاز الخامل (MIG)

ضبط الجهاز على الإعدادات المناسبة لسمك الفولاذ ونوع الغاز الخامل المستخدم (عادةً الأرجون أو خليط الأرجون مع ثاني أكسيد الكربون). اختيار القطب الكهربائي المناسب للحام (مثل سلك اللحام المغطى) بناءً على نوع الفولاذ. ضبط سرعة تغذية سلك اللحام والتيار الكهربائي بما يتناسب مع سمك المادة وخصائص اللحام المطلوبة .والشكل رقم (2) يوضح كيفية إجراء التجربة. والجدول رقم (3) يوضح معايير منظومة اللحام.

شكل (2): طريقة اللحام بالقوس المعدني المحجب بالغاز الخامل.

جدول (3): معايير منظومة اللحام.

قطر السلك mm	سرعة السلك m\min	وضعية اللحام	شدة التيارmA	قيمة الفولط KV
1.2	≤ 28	1	≤ 185	30.5

ثالثاً: الاختبارات غير الهدامة

1. اختبار الكشف بالسوائل النفاذة:

تم هذا الاختبار في المركز المهني المتقدم لتقنيات اللحام بتاجوراء، طرابلس.

2. الكشف باستخدام المجال المغناطيسي

تم هذا الاختبار في المركز المهني المتقدم لتقنيات اللحام بتاجوراء، طرابلس.

3. الكشف باستخدام الأشعة السينية X-Ray

تمت عملية الكشف باستخدام الأشعة السينية X-Ray في المركز المهني المتقدم لتقنيات اللحام بتاجوراء طرابلس.

4. الاختبارات الهدامة:

أولاً: اختبار الشد Tensile Test

لتحديد خواص الشد لأي مادة قمنا بإجراء اختبار الشد على عدد ثلاثة من العينات (قبل اللحام وبعده) مأخوذة من المادة المطلوب اختبارها، وقد أجري الاختبار لكل العينات طبقاً لمواصفة الشد المتبعة أثناء الاختبار ASTM E8M، وتَتبع الخطوات بعد قطع وتشغيل العينة طبقاً للأبعاد والشكل المطلوبين في المواصفة كما في الشكل (3). والجدول رقم (4) يوضح متوسط نتائج اختبار الشد قبل وبعد عملية اللحام.

شكل (3): عينة اختبار الشد.

جدول (4): متوسط نتائج اختبار الشد قبل وبعد عملية اللحام.

Weld type	Density 7.85/cm³		Area (mm)²	Gauge Length (mm)	Yield Point		Ultimate		Elongation
	T(mm)	W(mm)		81	Load (Kg)	Y.S (N/mm²)	Ultimate Load (Kg)	U.T.S (N/mm²)	New Length (mm)
Base	10.25	19.9	203.5	90	-	-	8900	373	95
Arc	20.05	12.2	244.6	-	-	-	5000	201	95

ثانياً: اختبار الصدم Impact Test

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).

جدول (5): نتائج اختبار الصدم.

Impact Value	Type
107.8 J	Base
97.3 J	Mig

ثالثاً: اختبار روكويل للصلادة Rockwell scale

يستخدم لقياس مدى مقاومة المعدن للخدش. والجدول (6) يوضح متوسط نتائج اختبار الصلاد للمعدن الأساس والمعدن الملحوم بـ ARC.

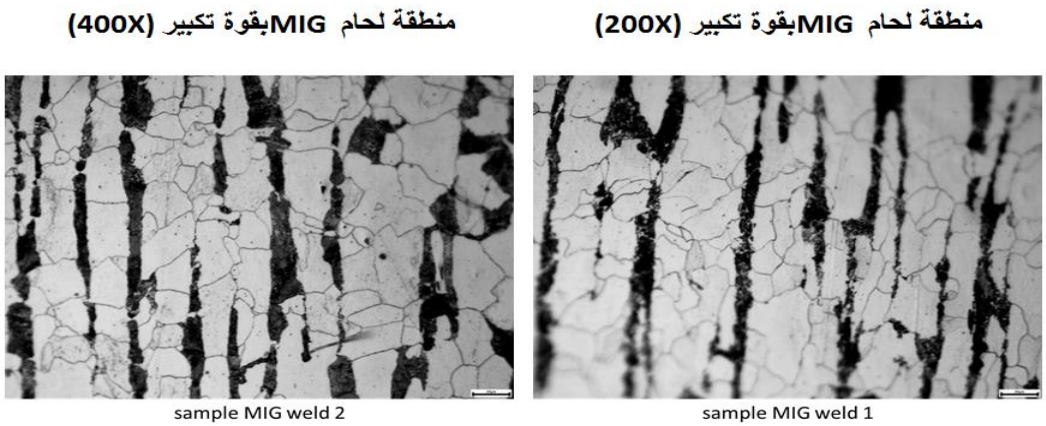
جدول (6): نتائج اختبار الصلادة.

Type	Test 1	Test 2	Test 3	Average (HRB)
Base	74	76	76	75.3333333
Mig	83	83.5	85	83.8

رابعاً: فحص البنية المجهرية Examination Microstructure

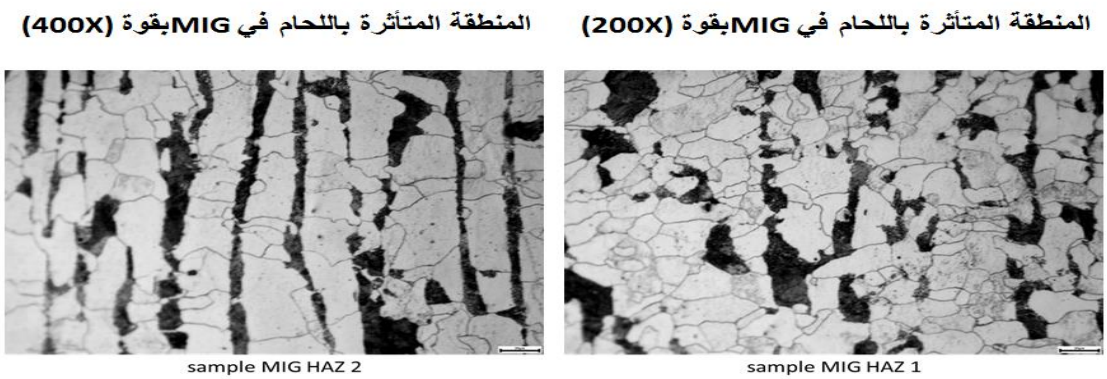
أجريت عملية تحضير للعينات لغرض فحص البنية المجهرية وتصوير العينات، حيث تم الفحص المجهري لمناطق مختلفة من العينات لمعدن الأساس ومنطقة المتأثرة باللحام ومنطقة اللحام وكانت النتائج على النحو التالي:

- الشكل رقم (4) يوضح الفحص مجهري لمنطقة اللحام بالقوس الكهربي MIG.



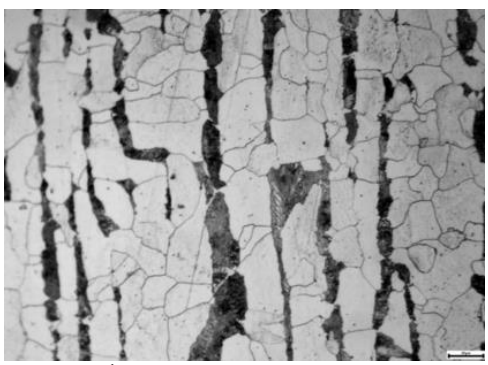
شكل (4): صور مجهرية لمنطقة لحام Mig

- شكل رقم (5) يوضح الفحص المجهري للمنطقة المتأثرة بعملية لحام Mig.



شكل (5): صور مجهرية للمنطقة المتأثرة بلحام Mig.

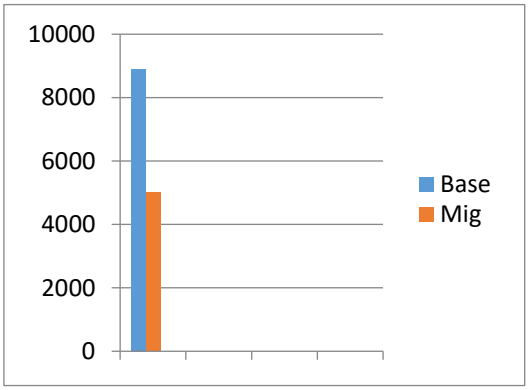
- الشكل رقم (6) يوضح الفحص المجهري لمنطقة معدن الأساس.



شكل (6): صور مجهرية للمعدن الأساس.

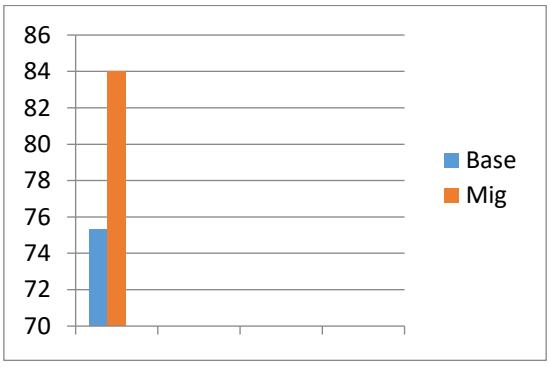
المحور السادس: النتائج والمناقشة

أظهرت نتائج الكشف غير الهدامة الموضحة في الاختبارات المذكورة أعلاه خلو معظم العينات من العيوب، فبعد الحصول على النتائج الموضحة بالجدول رقم (4) في اختبار الشد تبيّن لنا أن قيمة الحمل المسلط على العينة، حيث يتناقص عن قيمة الحمل عند المعدن الأساس، وأن أقصى حمل تتحمله وصلة اللحام الملحومة بالقوس المحجب بالغاز الخامل قليلة والتي بلغت 5000 كجم، وأن قيمة الإجهاد تناقصت قليلاً بواقع 220 نيوتن/ ملم2. كما أن نتائج وصلة اللحام الملحومة بطريقة MIG كانت ضعيفة جداً لمعدن الأساس، وهذه النتيجة لا تعطي موثوقية في هذه الوصلة أثناء التشغيل والمخطط. والشكل رقم (7) يبين نتائج أقصى حمل للوصلات.



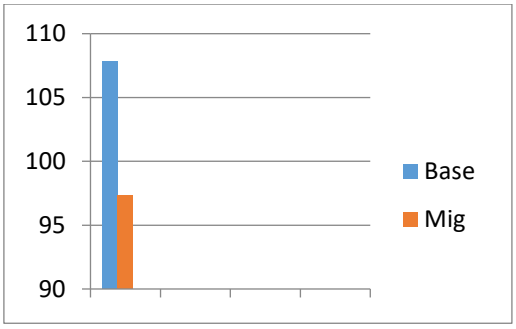
شكل (7): مخطط نتائج أقصي حمل للوصلات.

من المعروف أن الصلادة هي مقارنة المعدن للخدش، فمن خلال نتائج اختبار الصلادة الموضحة بالجدول رقم (6) اتضح أن وصلة اللحام الملحومة بالقوس المحجب بالغاز الخامل MIG ازدادت قيمة الصلادة فيها بقيمة كبيرة بسبب التحسن في البنية المجهرية. الشكل رقم (8) يوضح مخطط لقيم الصلادة.



شكل (8): مخطط قيم الصلادة.

كما أن اختبار الصدم يوضح مدى مقاومة المعدن للطرق والانهيار بسبب الإجهادات العالية وظروف التشغيل الصعبة، ومن خلال نتائج اختبار الصدم الموضحة بالجدول رقم (5) اتضح لنا أن وصلة اللحام الملحومة بطريقة MIG انخفضت قليلاً عن المعدن الأساس. الشكل (9) يوضح قيم الاختبار.



شكل (9): مخطط قيم اختبار الصدم.

ويلاحظ من الفحوصات المجهرية بالشكل رقم (4) لمنطقة لحام (Mig) أن الحبيبات تكون موزعة بشكل طولي غير منتظم وغير متجانسة نوعاً ما من ناحية الحجم، ويظهر التوزيع بشكل طبقات طولية منتظمة، ونجد أنه كلما ابتعدنا عن منطقة اللحام وصولاً إلى المنطقة المتأثرة بدرجة حرارة اللحام والمبينة بالشكل (5)؛ حيث ‘ن حبيباتها تتعرض للنمو كنتيجة لتغير التركيب الكيميائي للمعدن ويصبح انتشارها بشكل غير منتظم، وتكبر هذه الحبيبات كلما ابتعدنا عن منطقة اللحام لتعطي مؤشراً على وجود مناطق إعادة تبلور وصولاً للمعدن الأساس الذي تكون بنيته على شكل حبيبات موزعة طولياً بشكل رقيق غير متساوي المحاور والذي يوضحه الشكل (6).

ويظهر تكوين البرلايت (لونه رصاصي) كجزء أساسي من الأرضية مع ظهور السمنتايت (ذو اللون الرصاصي الغامق) مع توزع الكربون والعناصر الكيميائية الأخرى بشكل جلي في التركيب. أما الانخفاض في الخواص الميكانيكية التي تتضمن مقاومة الإجهاد ومقاومة الانفعال في حالة لحام (MIG) وانخفاض الصلادة؛ فهذا يعزى إلى البنية المجهرية كما هو مبين في الشكل رقم (4)، حيث إن وصلات اللحام في حالة لحام (MIG) أعطت مقاومة انفعال اقل مع انخفاض ملحوظ في الصلادة نتيجة تكون بنية من البرلايت بنسبة كبيرة، ويُعزى ذلك في الواقع إلى تكون بنية هندسية متجانسة التركيب الكيميائي كنتيجة لزيادة نسب العناصر الكيميائية في لحام MIG ويساهم بشكل كبير في قلة العيوب الناتجة في لحام (MIG)، وهذا ما أشارت إليه نتائج دراسة (Akca C., and Karaaslan, 2008).

المحور السابع: خاتمة

تمت دراسة تأثير تقنية لحام القوس المحجب بالغاز الخامل على الخواص الميكانيكية للفولاذ منخفض الكربون، وخلصت الدراسة إلى أن التقنية تؤثر بشكل إيجابي على قوة الشد ولكن قد تؤدي إلى تدهور في خصائص أخرى مثل المتانة نتيجة التغيرات في البنية المجهرية. ينصح بمتابعة المزيد من الأبحاث لتحسين أداء الفولاذ الملحوم باستخدام تقنيات لحام.MIG .

أولاً: النتائج

من خلال إجراء الاختبارات على وصلات اللحام الملحومة بطريقة MIG تو التوصل إلى النتائج الآتية:

1. أظهرت النتائج انخفاض في قوة الشد بعد عملية اللحام باستخدام MIG ، مع تحسن في مقاومة الصدم مما يجعل الفولاذ أكثر قدرة على تحمل الضغوط العالية.
2. وأشارت النتائج انخفاض طفيف في المتانة بعد اللحام بسبب التغيرات في البنية المجهرية.
3. كشفت النتائج عدم تحسن في البنية المجهرية لوصلات اللحام الملحومة بطريقة MIG وتكوّن حبيبات موزعة بشكل غير منتظم وغير متجانسة وظهور البرلايت كجزء أساسي من الأرضية مع ظهور السمنتايت.
4. أظهرت الصور المجهرية تغيرات في تشكيل الحبيبات، مما قد يؤثر على أداء الفولاذ في التطبيقات التي تتطلب خصائص ميكانيكية محددة.

التوصيات:

1. تحسين معايير اللحام للتحكم في التأثيرات السلبية على البنية المجهرية.

2. تطبيق تقنيات ما بعد اللحام مثل المعالجة الحرارية لتحسين المتانة.
3. توسيع الدراسة لتشمل أنواع أخرى من الفولاذ لمعرفة مدى تأثير اللحام على مواد مختلفة.

قائمة المراجع:

أولاً: المراجع العربية

1. أبو زهرة، محمد (2019)، الفولاذ واستخداماته في الصناعات المختلفة: دراسة معملية، مجلة آفاق للبحوث والدراسات، المجلد الثامن، العدد الرابع.

ثانياً: المراجع الأجنبية

2. Baik, S. C., & Kang, Y. S., Cost-Effectiveness of Low Carbon Steel in Manufacturing Processes, Journal of Materials Processing Technology, 2020.
3. Paunedi, C. & Devendra, K., *Corrosion Resistance of Low Carbon Steel Through Surface Treatment*, Materials Science Forum, 2022.
4. Bowland, J. H., & Yussen, L., Automotive Applications of Low Carbon Steel, Journal of Applied Studies, Vol.8, No.3, pp209-2022. Engineering.
5. David J. Stephens (2013). Gas Metal Arc Welding Handbook, Industrial Press.
6. Davis, J. Regard, (2021), *Metallurgy of Low Carbon Steel*, Jhone Willey ans Sons, USA.
7. Didit Sumardiyanto, & Sri Endah Susilowati. (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.
8. Fusin, A. Patel (2019). The Influence of Metal Inert Gas (MIG) Welding on Low Carbon Steel, Metallurgical Engineering Journal, 12 (5), 133-153.
9. Howard B. Cary, Scott Helzer (2005). Modern Welding Technology, 6th Edition. Pearson Education.
10. Husaini, Ali, N., Hamza, J. K., & Sofyan, S. E. (2019). Effects of welding on the change of microstructure and mechanical properties of low carbon steel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *523*(1), 012065. https://doi.org/10.1088/1757-899x/523/1/012065
11. Ismael, Q. (2022). Investigation of mechanical properties of low carbon steel weldments for different welding processes. *SVU-International Journal of Engineering Sciences and Applications*, *3* (2), 116–122. https://doi.org/10.21608/svusrc.2022.152920.1061.