

دراسة تأثير القص بالماء والقص بالليزر ولحام MIG, TIG على الخواص الميكانيكية والكيميائية

لعينات من الفولاذ المقاوم لصدأ 304

عبد الكريم رمضان الزهوقى¹ ربيعة الهادي بالحاج²

^{2,1} المعهد العالي للعلوم والتقنية الزاوية (الزاوية - ليبيا)

aalzahougi@yahoo.com

rabiabelhaj@yahoo.com

الملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد المعايير التشغيلية المثلى للحصول على أفضل وصلة لحام وذلك من خلال دراسة ومقارنة تقنيتي لحام MIG، TIG لعينات من الفولاذ المقاوم لصدأ SS304، بعد قطعها باستخدام تقنيتي القطع بالماء الكاشط، والليزر ودراسة تأثير كل منهما على خواص المعدن. تم قطع 28 عينة من المعدن بسمك 5ملم، حيث قطع نصفها بتقنية الماء، بينما قطع النصف الأخرى بتقنية الليزر، بعد ذلك تم لحام 9 عينات من كل مجموعة بتقنية لحام TIG والعينات المتبقية بلحام MIG عند متغيرات لحام مختلفة. تمت دراسة تأثير هذه المتغيرات على جودة اللحام وكذلك على الخواص الميكانيكية للمعدن للتحديد أفضل تقنية قطع وأفضل ظروف تشغيل تؤدي إلى الحصول على أفضل وصلة لحام، كما تم قياس الصلادة وقوة الشد القصوى لكل من المعدن الأساس ومنطقة اللحام والمنطقة المتأثرة باللحام عند مختلف متغيرات اللحام. أظهرت نتائج الدراسة أن القطع بالماء حقق أفضل النتائج من حيث جودة القطع مقارنة بالليزر. كما بينت الدراسة أن كلا من الصلادة وقوة الشد القصوى تزدادان بزيادة شدة التيار حتى قيمة 70 أمبير، ثم تبدأ في الانخفاض عند القيم الأعلى. لوحظ الاتجاه نفسه عند زيادة كمية غاز الحماية حتى 9SC ثم بدأ بالانخفاض، بينما كانت العلاقة طردية بين كل من الصلادة وقوة الشد وكمية غاز الحماية PS. أظهرت العينات المقطوعة بالماء أعلى قيم للصلادة وقوة الشد في المنطقة المتأثرة باللحام بينما سجلت العينات المقطوعة بالليزر أعلى القيم في منطقة اللحام نفسها. أما في حالة لحام MIG فقد حققت أعلى قيمة للصلادة عند جهد 17 فولت، بينما سجلت أعلى قيمة لقوة الشد عند جهد 18 فولت للعينات المقطوعة بالليزر. الكلمات المفتاحية: قطع بالماء، قطع بالليزر، لحام TIG، لحام MIG، صلادة، قوة شد قصوى.



Study of the Effect of Water jet cutting, Laser cutting, TIG Welding, and MIG Welding on the Mechanical and chemical Properties of AISI 304 Stainless Steel Samples

Abdulkarim Alzahougi¹ RabiaHadi Elhag²

Abstract:

This study aims to identify optimal process criteria for obtaining the best weld joint and the effect of this on the properties of the metal, by comparing two welding techniques for the samples of 304 Stainless steel, after cutting them by using the water and laser cutting techniques, cut 28 samples of the metal with a thickness of 5 mm, half of them by water Jet cutting and the remaining half were cut by laser cutting, 9 samples were welded by TIG technique and another 9 by laser welding with different welding parameters. The effect of these variables on the quality of the weld as well as on the mechanical properties of the metal were studied to determine the best operation condition and cutting that lead to the best weld joint, the hardness and ultimate tensile strength of base metal, heat affect zone and weld metal were measured at each welding parameters. The study revealed that water cutting results in terms of cutting quality was the best, also showed both hardness and tensile strength increased with increasing the current up to 70 A, then reduced at higher values. This increase was also observed when the amount of SC gas increased to 9, conversely found a direct relationship between the hardness, amount of PS gas and tensile strength, the samples were cutting by water jet showed the highest hardness and tensile strength in the heat affect zone, while the highest values were in the weld metal for laser cutting. In the case of welding the metal, the highest hardness was at voltage of 17 volts and the highest tensile strength value at value of 18 volts for laser cut samples.

Key words : water cut, laser cat, TIG Welding, MIG Welding Hardness test and Tensile strength test.

المقدمة:

نتيجة التطور السريع في نمط الحياة وخاصة في المجالات العمرانية والهندسية، شهدت تقنيات قص وتشكيل المعادن عالية الصلابة، مثل الفولاذ، تطورا كبيرا لمواكبة التصاميم الحديثة والمتطلبات الصناعية المتزايدة. ومن أبرز هذه التقنيات: القطع بالماء الكاشط والقطع بالليزر اللتان تستخدمان على نطاق واسع في قص وتشكيل المعادن. بدءا من التوسع في استخدام التقنيتين خلال ثمانينيات القرن الماضي، حيث استخدم الماء الحاوي على مواد كاشطة بضغط عالي لقطع وتشكيل المعادن الصلبة على البارد بدون استخدام حرارة (أي لا ينتج عنه منطقة متأثرة حراريا) مما يساعد على الحفاظ على خصائص المادة المقطوعة من حيث البنية المجهرية والخواص الميكانيكية، أثبتت هذه التقنية من القطع فعاليتها في قطع اسماك مختلفة من المعدن ما ساعدها لتكون من أفضل طرق القطع والأكثر انتشارا مقارنة بالطرق الأخرى. تقنية القطع بالماء تساعد أيضا على الحفاظ على خواص المعدن الميكانيكية بعد القطع خاصة عند حافة القط والذي يعزى إلى سرعة القط والضغط العالي للماء بالإضافة إلى درجة الحرارة المنخفضة للقطع لان حرارة القطع تؤثر سلبا على الخواص الميكانيكية للمعدن أن تقنية القطع بالماء تعطي حواف تكاد تكون خالية من أية نتوءات أو حواف أو زوائد ما يسمح بالحصول على سطح قطع ناعم وأملس مما يجعل هذه التقنية رائدة في العديد من المجالات الصناعية خاصة صناعة السيارات والطائرات وكذلك في العديد من المجالات الإنشائية والهندسية بمختلف مجالاتها (Krajcarz, 2014, P. 841). في المقابل فان تقنية القطع بشعاع الليزر يعتمد على استخدام شعاع عالي الطاقة يعمل على إذابة المادة وتبخيرها في وجود غاز مساعد، ومع ذلك فان تقنية القطع بالليزر لها العديد من الميزات التي تتفرد بها عن غيرها من حيث الدقة والسرعة العالية للقطع ما يوسع من مجالات استخدامها خاصة في الصناعة، حيث يتم استخدام طاقة وغاز عالي النقاء في هذه التقنية، تعتمد نتيجة القطع هنا على نوع الغاز المستخدم وشدة التيار وعدة ظروف أخرى. بالرغم من السرعة العالية التي تتمتع بها هذه التقنية من القطع إلا أنها محدودة من حيث سمك المعدن بالإضافة إلى تكون منطقة متأثرة حراريا تؤدي إلى حصول تشوه فالخواص الميكانيكية وحواف المعدن، بالإضافة إلى أن القطع بالليزر يقتصر على بعض المواد المتجانسة

التي لا تعكس الضوء في حين أن القطع بالماء يقص جميع أنواع المواد حتى العاكسة للضوء وبطريقة آمنة على المعدن والبيئة من حيث الإشعاعات المنبعثة والحرارة التي تسبب في تغير في خواص المعدن (Zheng et al., 1996, P. 295,296).

تؤثر عملية اللحام على المعدن بشكل مباشر على البنية المجهرية للمعدن من حيث خواصه الميكانيكية مثل الصلادة وقوة الشد في كلا من منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة باللحام. تستخدم تقنية اللحام بالقوس المعدني المحمي بالغاز الخامل MIG الربط الفولاذ المقاوم لصدأ باستخدام سلك قابل للاستهلاك موصول بتيار كهربائي. تستخدم هذه الطريقة من اللحام لربط العديد من المواد بسمكات مختلفة، وبالرغم من القدرة العالية لهذه الطريقة على الاختراق وسرعتها في إتمام عملية اللحام إلا إنها تعاني من العديد من العيوب مثل: احتراق السلك وعدم استقرار القوس بالإضافة إلى الأبخرة المتصاعدة أثناء عملية اللحام. في المقابل تستخدم تقنية لحام TIG تستخدم في لحام الفولاذ المقاوم للصدأ نتيجة استقرار القوس وقلة الأبخرة المنبعثة وتعطي لحام ذو جودة عالية. تحافظ هذه التقنية من اللحام على سلامة المادة بسبب إمكانية التحكم في الطاقة عند مستويات منخفضة وهي الأنسب للسمكات حتى 7 ملم وهي الأفضل في العديد من التطبيقات الصناعية (Parma et al., 2021, p. 2873).

ركزت معظم الدراسات على المقارنة للتقنيات المختلفة للقص المعادن في حين ركزت دراسات أخرى على الاختلافات الجوهرية فالتقنيات المختلفة للحام، هدفت هذه الدراسة على التأثير التراكمي لدمج التقنيات المختلفة لقطع واللحام عند ظروف لحام مختلفة للمقارنة بين تقنية النفث بالماء والقص بالليزر من حيث التأثير على الخواص الميكانيكية لعينات من معدن الفولاذ المقاوم لصدأ 304 ودراسة الفرق بين لحام هذه العينات بطريقتي لحام الترق والمق بعد قصها لفحص التشوه الحراري الحاصل من كل تقنية قص ولحام للوقوف على أفضل دمج لهذه التقنيات وأفضل عوامل لحام.

مشكلة البحث:

تكمن مشكلة البحث في الإجابة على السؤال الرئيس التالي: ما دراسة تأثير القص بالماء والقص بالليزر ولحام MIG, TIG على الخواص الميكانيكية والكيميائية لعينات من الفولاذ المقاوم لصدأ

؟.304

أهمية البحث:

1. تبرز أهمية البحث في المساهمة في تحديد أفضل مزيج من تقنيات القطع واللحام للحصول على أعلى جودة للمنتج وتقليل التشوهات والاثارة الحرارية وتحسين الأداء الميكانيكي للوصلات الملحومة.
2. تتمثل الأهمية الكبيرة للفولاذ في التطبيقات الهندسية والحاجة الى اختيار تقنيات للمحافظة على خواص المعدن الميكانيكية.
3. يساعد هذا البحث المهندسين والباحثين على اختيار أفضل متغيرات.

اهداف البحث:

1. مقارنة جودة العينات عن تقنيتي القطع من حيث الحواف والتشوهات والمنطقة المتأثرة بالحرارة وتأثيرهما على خواص المعدن.
2. دراسة تأثير تقنيتي اللحام MIG, TIG على مقاومة الشد والصلادة للعينات.
3. تحليل إثر متغيرات اللحام المختلفة مثل شدة التيار وكمية الغاز على جودة اللحام.
4. تحديد أفضل دمج بين تقنيات القطع واللحام لتحقيق أفضل خواص تشغيلية.

منهج البحث: اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي من خلال:

- تفسير والمقارنة بين المتغيرات.
- الدراسات السابقة.
- تحليل النتائج.

الدراسات السابقة:

تمت دراسة أهم الاختلافات الرئيسية بين تقنيتي القص بالماء والقص بالليزر وتأثير كلا الطريقتين على جودة القطع والحواف المقطوعة للمعدن وتبين من خلال الدراسة أن تقنية القطع بالماء تعطي نتائج أفضل من ناحية المحافظة على الخواص والبنية الداخلية للمادة أما اذا كان الهدف السرعة والاقتصادية خاصة في الصفائح الرقيقة والمتوسطة فان خيار القطع بالليزر يكون الأنسب (Spadlo et al., 2014, pp. 88,90). بالإضافة إلى تأثير تقنية اللحام فان ظروف اللحام المختلفة تلعب دورا أساسيا وفعال على جودة وصلة اللحام، العديد من الدراسات درست تأثير ظروف اللحام على جودة الوصلة الملحومة من بينها:

1- دراسة تأثير ظروف اللحام المختلفة على نوع وجودة القطع خاصة سرعة القطع، وتبين بوجود علاقة عكسية بين سرعة القطع وجودة اللحام، في حين كان تأثير الأمبير على عرض القطع في هذه الدراسة تحكمهما علاقة طردية، وجد ان الامبيرات المنخفضة مع السرعات العالية أدت إلى أفضل النتائج (ابوزيد و عبدالرحمن، 2021، ص. 522).

- تلعب متغيرات اللحام مثل شدة التيار وسرعة اللحام ونوع الغاز المستخدم الدور الأساس في تحديد البنية المجهرية النهائية للمعدن في منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة حراريا من حيث الصلادة وقوة الشد القصوى داخل الوصلة الملحومة (EL-Shennawy, M et al., 2024, P13). يشكل الجهد و شدة تيار اللحام الدور الأهم في تحديد الخواص الميكانيكية لوصلة اللحام حيث بينت العديد من الدراسات الأهمية التي تمثلها شدة التيار في التغير في قيم الصلادة للمعدن خاصة في منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة باللحام، حيث بينت الدراسة أن صلادة وصلة لحام لمعدن الفولاذ المقاوم للصدأ 304 ازدادت بشكل ملحوظ مقارنة بالمعدن الأساس عند زيادة تيار اللحام إلى 60 أمبير و جهد 40 فولت ومعدل تدفق غاز 18 لتر للدقيقة أيضا ازدادت قوة الشد القصوى عند هذه الظروف (Kajal, G et al., 2023, Proceedings)

2- في حين أن دراسة أخرى استخدمت قيم 60، 70، 80 أمبير أكدت أن زيادة التيار أدت إلى زيادة في الصلادة وقوة الشد القصوى لوصلة لحام الفولاذ 304 وبدت العلاقة بينهما طردية حتى قيم 70 أمبير وعند القيم الأعلى لوحظ انخفاض في الصلادة وكذلك قوة الشد القصوى (Ramakrishnan, A et al., 2021, P. 8210). كذلك الأمر بالنسبة للأهمية كمية غاز اللحام المستخدم حيث أكدت الدراسات أن استخدام الكمية المناسبة من غاز الأرجون يوفر حماية جيدة لقوس اللحام، فيحين أن الكمية العالية تسبب في اضطراب القوس ما يؤدي إلى انخفاض مقاومة الشد والصلادة وظهور عيوب سطحية، يساعد غاز الأرجون على منع الأكسدة في لحام الفولاذ 304 ولكن عند الكميات المناسبة فان الزيادة تكون بشكل طردي في كلا من الصلادة وقوة الشد (Aljufri.,) (A et al., 2024, PP. 40,41)

3- دراسة تأثير متغيرات التشغيل على جودة القطع بواسطة (Kongcharoen&Suchatawat,) (2018, pp. 166,167) حيث أجريت الدراسة لتقييم تأثير متغيرات التشغيل بالليزر مثل ضغط الغاز

وسرعة القطع وقدرة الليزر، وتبين انه لسرعة وضغط الغاز تأثيري جابي على نعومة السطح وتقليل عرض القطع، بينما كانت الزيادة في قدرة الليزر قد أدت إلى زيادة في عرض القطع، وهذا يؤكد أهمية وتأثير معاملات التشغيل على جودة القطع اللحام.

لا يقل تيار اللحام أهمية فالتأثير على جودة اللحام عن الظروف الأخرى، حيث تبين في العديد من الدراسات التأثير الكبير لتيار اللحام على القطع الملحومة، في دراسة استخدمت تيارات لحام مختلفة (70، 90، 110، 140 أمبير) للوقوف على مدى تأثير قوة التيار على الخواص الميكانيكية والحرارية لوصلات اللحام ب تقنيتي MIG، TIG لأنواع من معدن الفولاذ، وقد تبين من خلال الدراسة أن زيادة تيار اللحام يزيد من حرارة منطقة اللحام في كلا النوعين من اللحام ولكن في لحام TIG كانت أعلى. أيضا تأثرت مقاومة الشد بتيار اللحام حيث حققت الوصلات التناكبية (Butt Joints) مقاومة شد أعلى من وصلات التراكب (Lap Joints) من خلال نتائج - في هذه الدراسة يمكن القول إن الاختبار المناسب لتيار اللحام بعد مهما وضروري لتحقيق أفضل توازن بين الاحتراق الجيد للوصلة والحد من التأثيرات الحرارية الزائدة (Hasan et al., 2018, p. 195).

4- دراسة تيارات مشابهة للدراسة السابقة بقيم (90، 95، 100 أمبير) ومدى تأثيرها على سرعة اللحام ومقاومة الشد القصوى (UTS) للفولاذ الطري أخذ في الاعتبار تثبيت باقي المتغيرات. توصلت الدراسة إلى أن تأثير مقاومة الشد بتيار اللحام كان واضحا، وأن أفضل نتيجة تم الحصول عليها عند قيمة تيار 90 أمبير وأن الزيادة المفرطة في قيمة التيار قد تؤدي إلى تدهور الخواص الميكانيكية للمعدن لسبب ارتفاع الحرارة. أكدت جميع الدراسات على أن الاختيار الأمثل لظروف التشغيل يلعب الدور الأساسي في الحصول على أفضل جودة لحام. (Nutalapati et al., 2016, pp. 173-175)
المواد المستخدمة ومنهجية البحث:

في هذه الدراسة تم اختيار عينات من معدن الفولاذ المقاوم لصدا 304 بالمواصفات المدرجة في الجدول (2,1) وهو المعدن الأكثر استخداما والذي يشكل 50% من المعادن المستخدمة في مجالات التكنولوجيا والصناعات الهندسية، تمت اختيار عدد 28 من العينات بسمك 5 ملم تم قطع نصف العينات بتقنية النفث بالماء، والنصف الباقي بتقنية القص بالليزر.

الجدول (1): التركيب الكيميائي لمعدن الستينلس ستيل SS304 المقاوم لصدأ.

Elements	N	Ni	Cr	S	P	Si	Mn	C
%	0.10	10.5	20.0	0.030	0.045	0.75	2.0	0.08

الجدول (2): الخواص الميكانيكية لمعدن الستينلس ستيل SS304 المقاوم لصدأ.

Yield strength 0.2% (MPa)min	Tensile strength (MPa)min	Elongation(% in 50 mm)min
205	515	40

منهجية البحث:

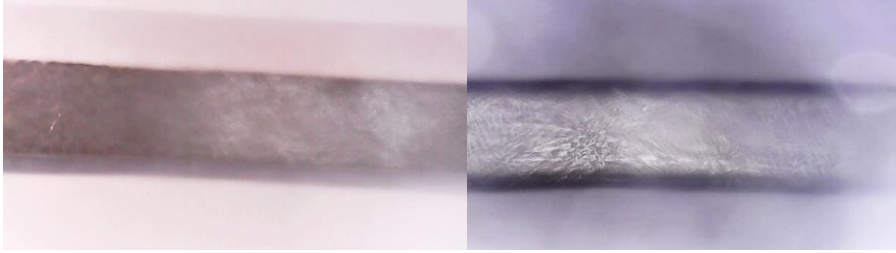
استخدمت عدد 28 من عينات معدن الفولاذ المقاوم لصدأ 304 المقاوم لصدأ بسمك 5 ملم بأبعاد 100 ملم × 80 ملم × 5 ملم. تمت عملية لحام جميع العينات بتقنيتي التق والمق عند ظروف تشغيلية مختلفة من تيار وكمية غاز الأرجون المستخدم وغاز التبريد. تم إجراء كلا من اختبار الشد، الصلادة، قياس المنطقة المتأثرة باللحام، كما تم إجراء اختبار فحص العيوب البصري لجميع العينات.

النتائج والمناقشة:

1- عينات المعدن المقطوعة بالماء والليزر

من خلال دراسة حواف المعدن المقطوعة وجد أن العينات المقطوعة بالماء كما مبين بالشكل (1.أ)، حوافها ناعمة ودقيقة وبدون حواف أو زوائد مما يدل على دقة القطع وعدم الحاجة إلى تشطيب للحواف أيضا توفير للوقت والجهد. لم يتم ملاحظة أية تشوه ميكانيكي يذكر في منطقة القص ويمكن القول هنا انه لم يحدث تغير في بنية المعدن أو حدوث تشققات، في حين أن العينات التي تم قطعها بالليزر كما بالشكل (1.ب)، كانت حوافها ناعمة نوعا ما مع وجود بعض الزوائد، هذا التشوه في البنية يعزى إلى حرارة القطع ثم التبريد المفاجئ للمعدن. أثرت أيضا ظروف التشغيل لكل تقنية على نتيجة القطع وهو ما أكدته العديد من الدراسات بالإضافة إلى طبيعة المعدن من حيث التوصيلية الحرارية فان حرارة القص تعتبر السبب الرئيسي لحدوث التغير الكبير في خواص المعدن نتيجة حدوث إعادة تبلور للمادة، فان للظروف التشغيل لكل تقنية قص تأثير كبير وملحوظ على نتيجة القص المتمثلة في شكل الحواف المقطوعة وبنية المعدن عند منطقة القص، ومن هذه الظروف درجة تبريد المعدن المقطوع والتي تؤثر بشكل كبير على خواص المعدن خاصة الصلابة وذلك لان عملية قص المعدن عند درجات حرارة عالية ومن ثم تبريده يؤدي إلى منطقة متأثرة بالحرارة أو علامة أكسدة

مما يسبب تغير ملحوظ في الخواص المعدنية والصلابة، لذلك يعد القطع بالماء من بين التقنيات الأفضل لقطع المعادن بعدم ظهور منطقة متأثرة بالحرارة لان حرارة القطع فيها تبقى دون حرارة إعادة تبلور المادة (Krajcarz, D 2014, P. 841 & Zheng, H et al 1996, P. 294-298).



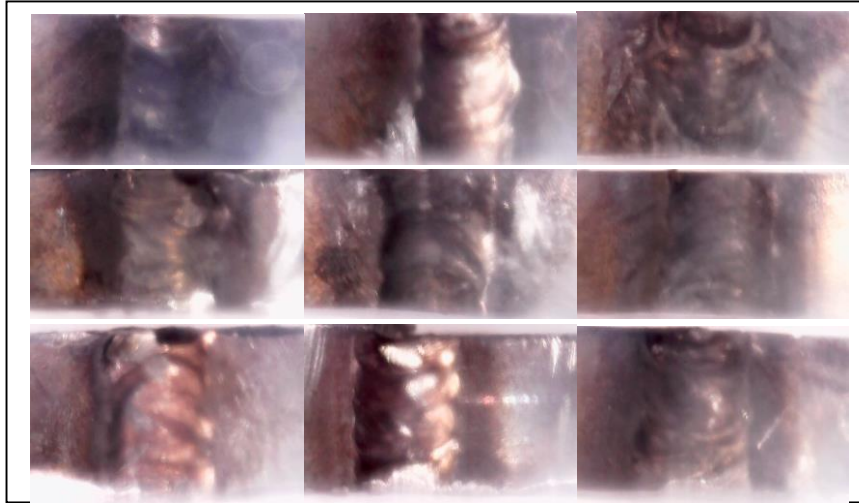
(أ) (ب)

الشكل (1): حواف العينات المقطوعة (أ) القص بالماء، (ب): القص بالليزر

المصدر: عمل الباحثان

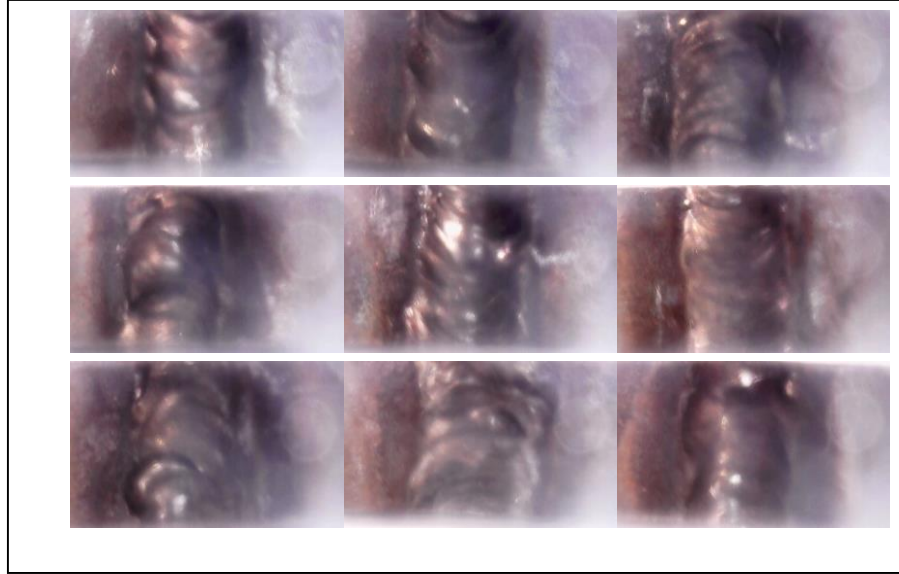
2- العينات الملحومة بتقنية الترق والمقطوعة بتقنية الليزر والماء:

يبين الشكل (2) وصلات اللحام للعينات المقطوعة باستخدام تقنية الليزر والملاحمة بتقنية الترق



الشكل (2): وصلات لحام العينات المقطوعة بتقنية الليزر وملحومة بتقنية لحام الترق

المصدر: عمل الباحثان



الشكل (3): وصلات لحام العينات المقطوعة بالماء وملحومة بلحام التتق

المصدر: عمل الباحثان

من خلال الأشكال 2، 3 يتبين أن شكل اللحام ناعم ورقيق ويتمتع بمتانة لجميع العينات الملحومة.
- تم قياس كلا من قيمة الصلادة وقوة الشد القصوى UTA لجميع العينات لكلا من المعدن الأصلي

والمنطقة المتأثرة باللحام HAZ أيضا لمنطقة اللحام وكانت النتائج كما بالجدول (3)

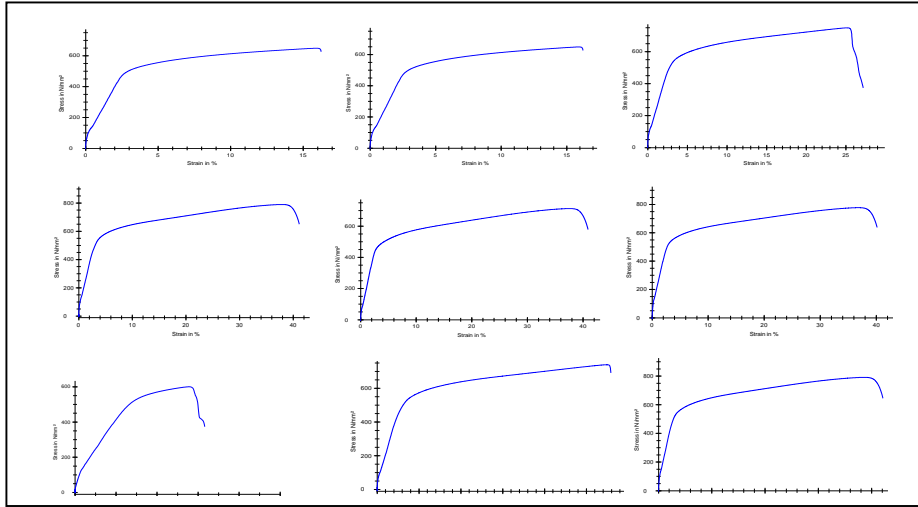
الجدول (3): قيم الصلادة وقوة الشد القصوى فيحالةلحام التتق للعينات المقطوعة بالليزر والماء

اختبارات الشد		اختبارات الصلادة				المتغيرات		العينة
قص بالليزر	قص بالماء	منطقة اللحم		المنطقة المؤثرة باللحام		المعدن الأساسي		
		قص بالليزر	قص بالماء	قص بالليزر	قص بالماء			
749.77	770.15	160	165	208	278	193	60A / 4PC/ 8SC	1
649.43	741.81	137	129	233	280	193	60A / 5PC/ 8SC	2
777.77	768.16	223	206	274	280	193	60A / 6PC/ 8SC	3
649.43	741.81	143	160	219	263	193	60A / 5PC/ 8SC	4
713.33	838.50	233	195	209	305	193	70A / 5PC/ 8SC	5
789.73	779.19	236	144	178	226	193	80A / 5PC/ 8SC	6
739.80	786.46	153	140	226	263	193	60A / 5PC/ 6SC	7
791.27	597.89	195	175	178	234	193	60A / 5PC/ 9SC	8
600.26	721.01	160	157	205	196	193	60A / 5PC/ 11SC	9

A: أمبير، PC: غاز التبريد، SC: غاز الارجون

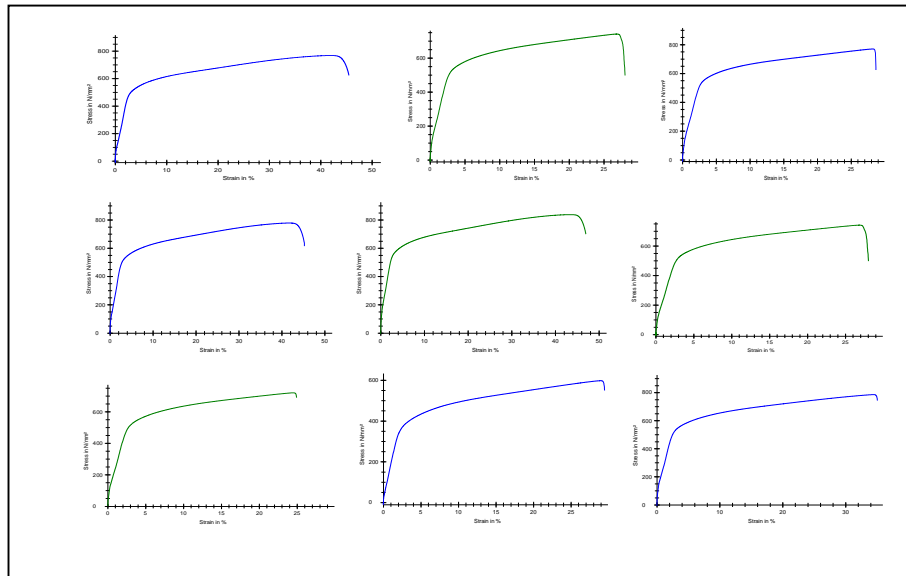
من خلال القيم بالجدول أعلاه وكما مبين من أشكال منحنيات الشد أدناه شكل (5,4) يمكن ملاحظة أن عوامل اللحام أثر تف يقيم الصلادة والشد على حدا سواء، بحيث عند زيادة في قيمة التيار من 60 إلى 70 أمبير زادت قيمة الصلادة و قوة الشد في منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة باللحام مقارنة بالمعدن الأساس لجميع العينات سواء المقطوعة بتقنية الماء أو الليزر (وكانت أعلى قيمة شد تم الحصول عليها بين جميع العينات الملحومة بتقنية الترق هي للعينة رقم 5 المقطوعة بتقنية الماء) فيما عدا العينة رقم 6 والتي زادت قيمة الصلادة والشد لها للعينة المقطوعة بالليزر عند قيمة تيار 80 أمبير فيما انخفضت عند هذه القيمة من التيار لباقي العينات، تمت ملاحظة هذه العلاقة من التزايد في قيمة الصلادة والشد حتى قيم معينة من التيار وانخفاضها عند قيم أعلى (Ramakrishnan, A et al., 2021, P. 8210).

أظهرت العينات عند كمية غاز 6 قيم صلادة أعلى عند المنطقة المتأثرة باللحام في حين أظهرت منطقة اللحام صلادة أعلى عند قيم أعلى من الغاز 9 في حين كانت قوة الشد الأعلى للعينة رقم 7 والأدنى في قوة الشد كانت عند كمية غاز 11 للعينة رقم 9 والذي يمكن تفسيره ربما أن كمية الغاز العالية أدت إلى عدم استقرار القوس (Aljufri., A et al., 2024, 40,41). أما بالنسبة لتأثير غاز التبريد PC فقد كانت العلاقة تسير بنمط طردي وكانت أعلى قيم للصلادة والشد عند أعلى قيم للغاز. كان التباين واضح في قيم الصلادة والشد للعينات المقطوعة بالماء والمقطوعة بالليزر نتيجة لتباين في عوامل القص واللحام ولكن بشكل عام تعتبر هذه القيم لصلادة وقوة الشد مقبولة مع ارتفاع طفيف للصلادة عند المنطقة المتأثرة باللحام والذي يدل على قوة جيدة ولحام متماسك ولكن ربما تظهر ضعف ليونة نتيجة التصلب، في حين كانت قيمة الصلادة في منطقة اللحام جيدة جدا ما يعكس التوازن بين القوة والليونة نتيجة البنية الميكروية المستقرة والتي تشير إلى جودة لحام جيدة تمنح تماسك قوى بين قطعتي المعدن.



الشكل (4): منحنيات الشد للعينات المقطوعة بالليزر وملحومة بلحام التق

المصدر: عمل الباحثان

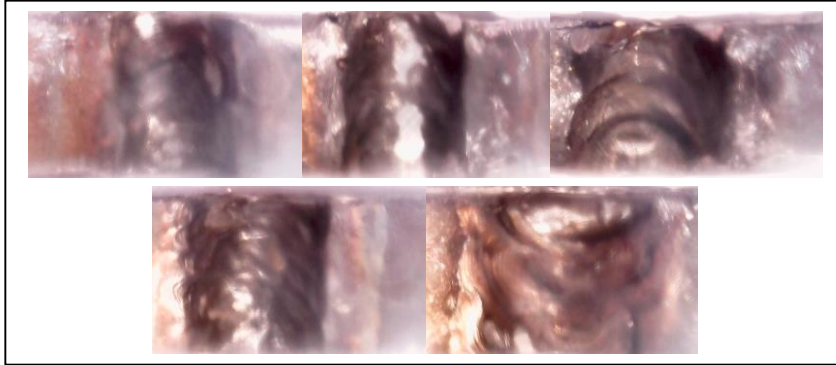


الشكل (5): منحنيات الشد للعينات المقطوعة بتقنية الماء وملحومة بتقنية لحام التق.

المصدر: عمل الباحثان

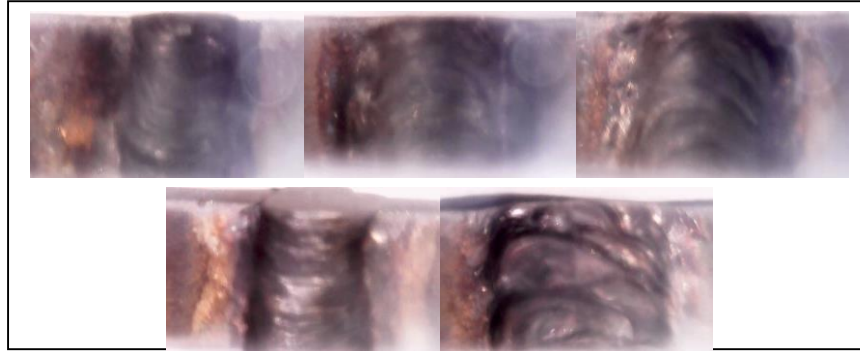
3- العينات الملحومة بتقنية المق والمقطوعة بتقنية الليزر والماء:

كانت شكل وصلات لحام المق للعينات المقطوعة بتقنية الليزر والماء كما بالشكل (6,5) ومن خلال الشكل يمكن القول أن أسطح وصلات اللحام لا تختلف كثيرا عن تلك في حالة لحام التق.



الشكل (6): وصلات لحام العينات المقطوعة بالليزر وملحومة بلحام المق

المصدر: عمل الباحثان

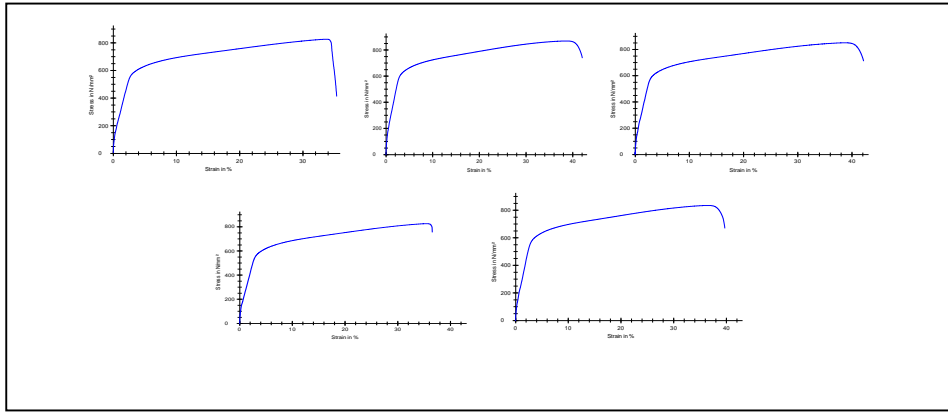


الشكل (7): وصلات لحام العينات المقطوعة بالماء وملحومة بلحام المق / المصدر: عمل الباحثان

كانت قيم الصلادة وقوة الشد القصوى في حالة العينات التي تم لحامها بتقنية لحام المق كما مبينة بالجدول (4)، حيث يبين الجدول قيم الصلادة وقوة الشد القصوى في حالة لحام MIG للعينات المقطوعة بالليزر والماء.

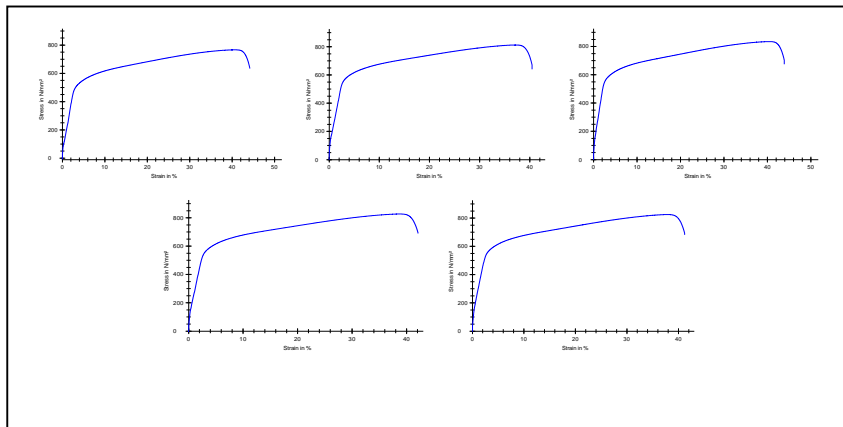
قوة الشد القصوى N/mm2	الصلادة					المتغيرات في اللحام	العينة	
	منطقة اللحام		المنطقة المتأثرة باللحام		المعدن الأساسي			
قطع بالماء	قطع بالليزر	قطع بالماء	قطع بالليزر	قطع بالماء	قطع بالليزر			
834	850	264	145	160	193	193	V17/G13LT	1
812	868	175	227	242	208	193	V18/G12LT	2
766	826	209	154	291	257	193	V18/G13LT	3
825	834	171	164	287	205	193	V18/G14LT	4
827	826	208	161	233	256	193	V19/G13LT	5

من خلال القيم بالجدول وأشكال منحنيات الشد الشكل (8,9) للعينات الملحومة بتقنية المق والمقطوعة بتقنيتي الماء والليزر يمكن ملاحظة انه عند نفس الجهد 18 فولت فان الصلادة قد تزايدت بزيادة كمية الغاز حتى 13 لتر وعند الكميات الأعلى بدأت بالتناقص بالنسبة للمنطقة المتأثرة باللحام في حين أن الصلادة في منطقة اللحام أظهرت علاقة عكسية مع كمية الغاز وكذلك الأمر حدث مع قوة الشد القصوى. في المقابل عند قيمة ثابتة للغاز 13 لتر وبتغير الجهد ظهرت علاقة طردية بين الصلادة والجهد في حين كانت العلاقة عكسية بين الفولتية وقوة الشد حيث أفضل قيمة لقوة الشد متحصل عليها كانت عند 18 فولت و 12 لتر من الغاز. يمكن هنا القول أن النتائج قد تباينت في قيم الصلادة وقوة الشد أيضا بين العينات المقطوعة بالماء والمقطوعة بالليزر نتيجة الاختلاف في عوامل التشغيل.



الشكل (8): قوة الشد القصوى للعينات المقطوعة بالليزر وملحومة بلحام المق

المصدر: عمل الباحثان



الشكل (9): قوة الشد القصوى للعينات المقطوعة بالماء وملحومة بلحام المق

المصدر: عمل الباحثان

الخلاصة:

بناء على ما سبق يمكن استنتاج الآتي:

- 1 - أن الخواص الميكانيكية للفولاذ المقاوم لصدأ 304 بعد عملية اللحام تعتمد إلى حد كبير على نوع التقنية المستخدمة وظروف التشغيل.
- 2- أيضاً لها دور كبير في التأثير على البنية المجهرية والمنطقة المتأثرة حرارياً والذي ينعكس على كلا من الصلادة ومقاومة الشد.
- 3 - أن اختيار تقنيتي القطع واللحام وضبط متغيراتها يعد من أهم الخطوات الواجب مراعاتها لتحقيق الأداء المطلوب في التطبيقات الهندسية.
- 4 - تعتبر هذه الدراسة كدراسة مقارنة بين تقنيتي القطع وتقنيتي اللحام من حيث الأفضل.

التوصيات:

- 1- يوصى باستخدام القص بالماء عندما تكون المحافظة على التركيب المعدني والحد من التأثيرات الحرارية من المتطلبات الأساسية.
- 2- يوصى باستخدام لحام TIG في التطبيقات التي تتطلب جودة لحام عالية وتشطيباً سطحياً أفضل ومقاومة أعلى للتآكل.
- 3- إجراء اختبارات دورية للصلادة ومقاومة الشد والفحص المجهرية بعد عمليات التصنيع لضمان جودة المنتج النهائي.
- 4- الاهتمام بتنظيف أسطح الفولاذ قبل وبعد اللحام لتقليل احتمالية التلوث وتحسين مقاومة التآكل.



المراجع:

1- أبوزيد، & عبدالرحمن. (2021). فحص تأثير الأمبير وسرعة القطع علي عرض القطع

باستخدام التشغيل بقوس البلازما لضبط جودة قطع الأسطح المعدنية من الـ Al سمك 10 ملم. مجلة

التصميم الدولية، 11(2).

2-Aljufri, A., Sofyan, S., Rizki, M. N., Putra, R., &Mawardi, I. (2024). Influence of shielding gas flow on the TIG welding process using stainless steel 304 material. *Journal of Welding Technology*, 6(1).

3- El-Shennawy, M., Abdel-Aleem, H. A., Ghanem, M. M., &Sehsah, A. M. (2024). Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of dissimilar AISI 304/ductile cast iron fusion welded joints. *Scientific Reports*, 14(1).

4- Hasan, A. S., Ali, O. M., &Alsaffawi, A. M. (2018). Effect of welding current on weldments properties in MIG and TIG welding. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.37).

5-Kajal, G., Lamba, R., Garg, H., & Malik, P. (2023). An experimental investigation of gas tungsten arc welding aspects on stainless steel (SS304) using Taguchi method. *Materials Today: Proceedings*.

6-Kongcharoen, T., &Suchatawat, M. (2000). Effects of the laser process parameters on kerf quality. *Laser*.

7-Krajcarz, D. (2014). Comparison metal water jet cutting with laser and plasma cutting. *Procedia Engineering*, 69.

8-Nutalapati, S., Azad, D., & Naidu, G. S. (2016). Effect of welding current on welding speed and ultimate tensile strength (UTS) of mild steel. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 7(5).

9-Parmar, G., Pathak, A. K., & Khan, M. R. A. (2021). Study of Mechanical Properties of MIG Welding and TIG Welding Welded Dissimilar Joint of Mild Steel and 304 Austenitic Stainless Steel. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 8(4).



10-Ramakrishnan, A., Rameshkumar, T., Rajamurugan, G., Sundarraju, G., &Selvamuthukumar, D. (2021). Experimental investigation on mechanical properties of TIG welded dissimilar AISI 304 and AISI 316 stainless steel using 308 filler rod. *Materials Today: Proceedings*, 45.

11-Spadło, S., Krajcarz, D., &Młynarczyk, P. (2014). A comparison of laser cutting and water-jet cutting. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 66(2).

12-Zheng, H. Y., Han, Z. Z., Chen, Z. D., Chen, W. L., & Yeo, S. (1996). Quality and cost comparisons between laser and waterjet cutting. *Journal of Materials Processing Technology*, 62(4).