

البنية البلورية والقساوة الماكروية لمناطق مختلفة من الوصلات اللحامية الفولاذية متباينة التركيب الكيميائي والثخانة

م. نادين يزبك* أ.د.م محمد علي سلامة** أ.د.م أحمد الرصيص***

*طالبة دراسات عليا- قسم هندسة التصميم الميكانيكي- جامعة دمشق

** أستاذ- قسم هندسة التصميم الميكانيكي- جامعة دمشق

*** مدير بحوث- المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا- دمشق

ملخص

أجريت دراسة تجريبية مكثفة بهدف بيان تأثير بارامترات نظام لحام الصهر بالقوس الكهربائي في البنية البلورية والقساوة الماكروية للوصلات الفولاذية متباينة التركيب الكيميائي والثخانة. استُخدم في هذه الدراسة صفائح من الفولاذ الكربوني ومثيله المقاوم للصدأ كمعادن متباينة التركيب الكيميائي. جرت دراسة البنية البلورية للوصلات الملحومة باستخدام المجهر الضوئي. لوحظ تواجد البنية الفريتية- البرليتية في مناطق مختلفة من الوصلات اللحامية للفولاذ الكربوني (منطقة اللحام وخط الصهر ومنطقة التأثر الحراري والمعدن الأم)، بينما كانت البنية أوستنيتية في منطقة اللحام للوصلات اللحامية من الفولاذ المقاوم للصدأ والوصلات من (الفولاذ الكربوني- الفولاذ المقاوم للصدأ). جرى استخدام إلكترودات من الفولاذ منخفض الكربون (E6013) و(E7018-1) للحام صفائح الفولاذ الكربوني، وإلكترودات من الفولاذ المقاوم للصدأ (E316L-16) للحام صفائح

البنية البلورية والقساوة الماكروية لمناطق مختلفة من الوصلات اللحامية الفولاذية متباينة التركيب الكيميائي والثخانة

الفولاذ المقاوم للصدأ وصفائح من (الفولاذ الكربوني- الفولاذ المقاوم للصدأ). أظهر اختبار القساوة الماكروية عدم وجود أطوار قاسية في المناطق المختلفة من الوصلات اللحامية.

الكلمات المفتاحية: لحام الصهر بالقوس الكهربائي- فولاذ كربوني- فولاذ مقاوم للصدأ- الثخانة- التركيب الكيميائي.

Micro- Structure and Macro- Hardness of various zones of steel joints, varied in chemical composition and thickness

*Eng Nadine Yazbek **Prof.Dr.Eng Mohamad Ali Salameh ***
Prof.Dr.Eng Ahmed Al Rassis

*Postgraduate student- Department of Mechanical Design
Engineering- Damascus University

**Professor- Department of Mechanical Design Engineering-
Damascus University

***Professor- Higher Institute of Applied Sciences and Technology

Abstract

Intensity experimental study has been performed to show the effect of arc welding parameters on the micro- structure and macro-hardness of steel joints, varied in chemical composition and thickness. Carbon steel and stainless steel plates were the welded dissimilar metals, which used in this study. Light microscope was used to examine the microstructure of welded joints. Ferrite- Pearlite structure was seen in various zones of the carbon steel joints (WM, FL, HAZ & PM), but austenitic structure was seen in the weld metal zone of stainless steel and (carbon steel- stainless steel) joints. Low carbon steel electrodes (E6013) & (E7018-1) were used to join carbon steel plates, and stainless steel electrodes (E316L-16) were used to join stainless steel and (carbon steel- stainless steel) plates. The macro- hardness test has showed that hard phases were not formed in the various zones of welded joints.

Key Words: Arc welding process- Carbon steel- Stainless steel- Thickness- Chemical composition.

مقدمة:

يعد لحام الصهر بالقوس الكهربائي لأنواع الفولاذ متباينة التركيب الكيميائي والثخانة ذا أهمية كبيرة في نطاق الصناعة، إذ يستخدم هذا اللحام بشكل واسع في كل من خطوط نقل النفط الخام والغاز ومحطات توليد الطاقة والمفاعلات النووية والصناعات البتروكيميائية. يواجه هذا اللحام العديد من المشاكل والصعوبات مثل انخفاض الخواص الميكانيكية لمناطق مختلفة من الوصلات للحامية (منطقة اللحام وخط الصهر ومنطقة التأثر الحراري والمعدن الأم) وحدث بعض العيوب، وذلك بسبب الاختلاف في الخواص الكيميائية والفيزيائية (الحرارية) والميكانيكية للمعادن الملحومة معاً. [2]

تبرز أهمية لحام المعادن متباينة التركيب الكيميائي في إمكانية التعويض عن الوصلات للحامية ذات الثخانات الكبيرة بمثلاتها من الثخانات الأقل والمتمتعة بخواص ميكانيكية أعلى وأكثر مقاومة لظروف استثمار هذه الوصلات. ولكن ذلك يتطلب اختيار البارامترات المثلى لنظام لحام الصهر والتي تحقق بنى بلورية خالية من العيوب الميكروية لمناطق مختلفة من الوصلة للحامية وتتمتع بأفضل الخواص الميكانيكية لهذه الوصلات. من أمثلة هذا النوع من اللحام متباين التركيب الكيميائي والثخانة: لحام الفولاذ الكربوني مع مثيله السبائكي ولحام أنواع مختلفة من الفولاذ المقاوم للصدأ متباينة التركيب الكيميائي والثخانة.

هدف البحث:

- التوصل إلى بارامترات اللحام المتناسبة مع ثخانة الوصلات للحامية المدروسة متباينة التركيب الكيميائي.

- الحصول على أفضل خواص ميكانيكية ممكن الوصول إليها لمناطق مختلفة من الوصلة للحامية، وذلك من خلال التحكم ببارامترات نظام اللحام.
- تعزيز عمليات لحام الخلائط المعدنية (أو السبائك) متباينة التركيب الكيميائي في سوريا ومحاولة إيضاح منهجيات لحام الخلائط المعدنية متباينة التركيب الكيميائي والثخانة لتسهيل استخدامها في سوق العمل.

مواد وطرائق البحث:

تم في هذا البحث لحام صفائح من الفولاذ الكربوني St52-3 و St37-2 والفولاذ المقاوم للصدأ AISI 316L و AISI 304 ذات الثخانات المختلفة.

تبين الجداول (1)، (2)، (3)، (4) التركيب الكيميائي لأنواع الفولاذ المستخدمة في البحث.

الجدول (1) التركيب الكيميائي لعينات الفولاذ الكربوني St52-3

نوع الفولاذ	C	Si	Mn	P	S
St 52-3	0.22	0.55	1.6	0.04	0.04

الجدول (2) التركيب الكيميائي لعينات الفولاذ الكربوني St37-2

نوع الفولاذ	C	Si	Mn	P	S
St37-2	0.11	0.12	0.37	0.008	0.004

الجدول (3) التركيب الكيميائي لعينات الفولاذ المقاوم للصدأ 304

نوع الفولاذ	Cr%	Ni%	Mn%	Si%	C%
S.S 304	17.5	8	2	1	0.07

الجدول (4) التركيب الكيميائي لعينات الفولاذ المقاوم للصدأ 316L

نوع الفولاذ	Cr%	Ni%	Mn%	Si%	C%	Mo%	N%	P%	S%
S.S 316L	16	10	2	1	0.08	2	0.1	0.05	0.03

ويوضح الجدول (5) الثخانات المستخدمة في البحث والملحومة معاً. تم لحام الصفائح وفق وضعيتي لحام، حيث تم لحام العينتين D2,D3 لحاماً تراكيبياً بينما تم لحام باقي العينات تتاكيباً. اختلفت زوايا الشنفرة للصفائح الملحومة معاً وفقاً لثخانة كل منها.

الجدول (5) ثخانات الصفائح الفولاذية والملحومة معاً ووضعيات لحامها

اسم العينة	وضعية اللحام	معدن الأساس الأول	ثخانته (mm)	زاوية الشنفرة	معدن الأساس الثاني	ثخانته (mm)	زاوية الشنفرة
A	تتاكبي	St37-2	5	45°	St52-3	7	45°
B	تتاكبي	St37-2	10	60°	St52-3	6	45°
C	تتاكبي	St37-2	6	45°	St52-3	9	45°
D1	تتاكبي	S.S 304	4	دون	S.S 316L	3	دون
D2	تراكبي	S.S 304	2	دون	S.S 316L	4	دون
D3	تراكبي	S.S 304	8	دون	S.S 316L	4	دون
E1	تتاكبي	S.S 304	6	45°	St52-3	4	45°
E2	تتاكبي	S.S 304	6	45°	St37-2	4.6	45°

تم لحام الصفائح على مجموعتين:

المجموعة الأولى (العينات A,B,C) : صفائح من الفولاذ الكربوني والتي تم لحامها باستخدام آلة اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي، وباستخدام إلكتروود اللحام من الفولاذ منخفض الكربون، حيث تم لحام المسار الأول للوصلة للحامية (جذر الدرزة للحامية)

باستخدام إلكترونيات من النوع E6013 ، بينما جرى لحام باقي المسارات باستخدام إلكترونيات من النوع E7018-1.

المجموعة الثانية (العينات D1, D2, D3, E1, E2) والتي هي صفائح الفولاذ المقاوم للصدأ التي تم لحامها معاً وأخرى تم لحامها مع صفائح من الفولاذ الكربوني باستخدام آلة اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي وإلكترونيات اللحام من الفولاذ المقاوم للصدأ E316L-16. يوضح الجدول (6) بارامترات اللحام المستخدمة في كل حالة، إذ استخدم التيار المستمر للحام الصفائح الفولاذية المدروسة في البحث، وذلك لأن التيار المستمر يحقق ثبات بشدة تيار اللحام واستقرار لقوس اللحام. وتم تحديد شدة التيار الابتدائية تبعاً لنوع الفولاذ المراد لحامه في كل حالة، واختيرت القطبية المباشرة لأن المعدن الملحوم هو الفولاذ والذي يحتاج إلى درجات حرارة عالية ليتم صهره. [6] [p.94, p.110]

الجدول(6) يبين بارامترات اللحام المستخدمة

العينة	إلكترونيات اللحام	تيار اللحام (A) وقطبيته	توتر القوس (V)	زمن اللحام (Sec)	سرعة اللحام (Cm/Sec)
A	E6013, E7018-1	(100-120) - مباشرة	25	68	0,36
B	E6013, E7018-1	(100-120) - مباشرة	25	107	0.36
C	E6013, E7018-1	(100-120) - مباشرة	25	100	0.36
D1	E316L-16	(100-120) - مباشرة	24	74	0.24
D2	E316L-16	(100-120) - مباشرة	24	199	0.089
D3	E316L-16	(100-120) - مباشرة	25	117	0.11
E1	E316L-16	(100-120) - مباشرة	25	155	0.11
E2	E316L-16	(100-120) - مباشرة	25	127	0.11

البنية البلورية والقساوة الماكروية لمناطق مختلفة من الوصلات للحامية الفولاذية متباينة التركيب
الكيميائي والثخانة

لتجنب حدوث عيوب اللحام يجب أن يتم التحكم بالطاقة الطولية (طاقة الدخول) أثناء عملية اللحام على طول الوصلة للحامية، ويمكن تحقيق ذلك عن طريق التحكم بطول عمود القوس، حيث كان في بداية اللحام حوالي 3mm وتم تقليل طوله تدريجياً حتى بلغ في نهاية خط اللحام حوالي 0,5mm .

نظراً لاختلاف الثخانة بين المعدنين الملحومين معاً، يتم توجيه الإلكترود نحو المعدن الأكثر ثخانة وذلك بغاية تحقيق توازن في صهر المعدنين معاً.

وتوضح الأشكال (1)، (2)، (3) العينات بعد اللحام:



الشكل (1) العينات A,B,C بعد اللحام



الشكل (2) العينات D1, D2, D3 بعد اللحام



الشكل (3) العينتين E1, E2 بعد اللحام

ويغرض دراسة البنية البلورية والقساوة، تم اقتطاع عينات بعرض 20mm من الصفائح الملحومة. [6] [P:50]

شُحذت سطوح العينات باستخدام أوراق الشحذ التي تتدرج نعومتها من 150 وحتى 1200. ومن ثم صُقلت سطوحها باستخدام قرص دوّار مغطى باللباد ومادة حاكّة من أكسيد الألمنيوم. تلى ذلك عملية التتميش والتي تقسم العينات إلى مجموعتين، الأولى يتم فيها استخدام حمض الأزوت المخفف بنسبة 4% لتتميش وصلات لحام الفولاذ الكربوني، حيث يتم غمسها في المحلول لمدة 20 Sec ثم غسلها بالماء وتجفيفها. بينما يتم تتميش عينات الفولاذ المقاوم للصدأ باستخدام مزيج من حمض كلور الماء (بنسبة 45%) وحمض الأزوت (بنسبة 10%) وماء مقطر (بنسبة 45%)، حيث يتم غمس العينات في المحلول لمدة لا تقل عن 10 Min، وقد استغرق تتميش الفولاذ المقاوم للصدأ لمدة تزيد على 10 Min. [3] [P.P:45-48]

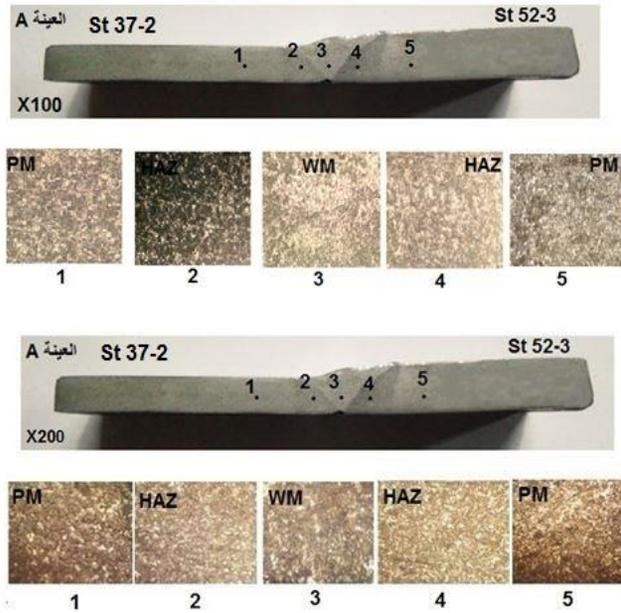
النتائج والمناقشة:

تمت دراسة البنية البلورية عند نسبتي تكبير X100, X200، حيث أظهرت دراسة البنية البلورية ما يلي:

- البنية البلورية للعينات A, B, C هي فريت وبرليت. يظهر حجم الحبيبات في حوض اللحام صغير وناعم، بينما يلاحظ ازدياد حجمها في المناطق المتأثرة بالحرارة.
- البنية البلورية في العينات D1, D2, D3 كانت أوستنيتية بالكامل.
- البنية البلورية لمنطقة التأثير الحراري في العينات E1, E2 كانت أوستنيتية بالكامل في طرف صفيحة الفولاذ المقاوم للصدأ، وبنية فريتية-برليتية في طرف صفيحة الفولاذ الكربوني. ولكن يلاحظ في هذه المنطقة ازدياد في نسبة الفريت عن باقي مناطق الفولاذ الكربوني، يمكن تعليل ذلك باحتمالية حدوث هجرة لبعض ذرات الكربون إلى منطقة حوض اللحام، ولكنها لم تؤثر في بنيته والتي بقيت أوستنيتية والدليل على ذلك تجانس قيم القساوة فيها.
- يلاحظ أن شكل حبيبات الأوستنيت طولي في منطقة التأثير الحراري للفولاذ المقاوم للصدأ، بينما شكل حبيبات البرليت والفريت حبيبي في منطقة التأثير الحراري للفولاذ الكربوني.
- يلاحظ ازدياد حجم الحبيبات في منطقة التأثير الحراري للفولاذ الكربوني.
- وُجد الأوستنيت بتوزع شجري (دندريتي) في الفولاذ المقاوم للصدأ، حيث يلاحظ نمو الأوستنيت بهذا الشكل في منطقة خط الصهر مع المعدن الأكثر ثخانة لعينات الفولاذ المقاوم للصدأ D1, D2, D3. نجد أن هذه البنية في العينة D3 كانت واضحة في خط الصهر مع المعدن الأساس 304 ذي الثخانة الأكبر، وفي العينة D2 مع المعدن 316L ذي الثخانة الأكبر، كما يمكن أن يلاحظ في هذه العينة أن منطقة التأثير الحراري المجاورة لخط الصهر هذا ذات بلورات أكبر من باقي المناطق.

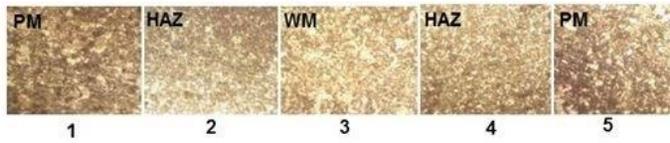
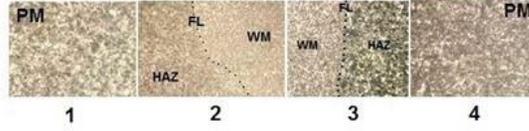
يمكن تفسير ذلك بأن اتجاه انتقال الحرارة أثناء تجمد معدن اللحام يكون من حوض اللحام باتجاه معدن الأساس البارد مما يؤدي لتشكل هذه البلورات الشجرية الطولية بزوايا قائمة على خط اللحام.

توضح الأشكال التالية (4)، (5)، (6)، (7)، (8)، (9)، (10)، (11) البنى البلورية التي تم الحصول عليها:

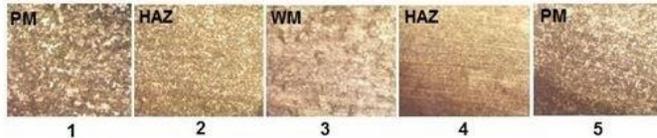
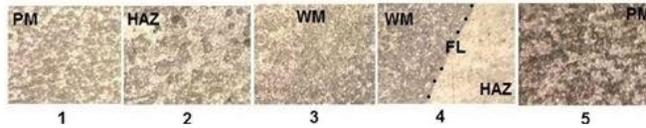


الشكل (4) البنية البلورية للعينة A بتكبير X100, X200

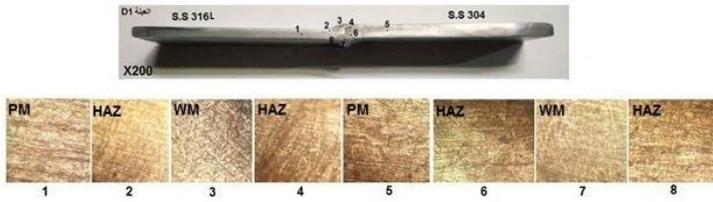
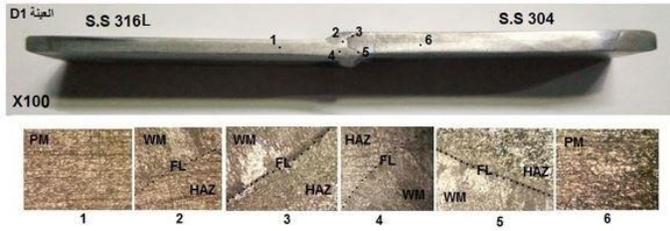
البنية البلورية والقساوة الماكروية لمناطق مختلفة من الوصلات اللحامية الفولاذية متباينة التركيب الكيميائي والثخانة



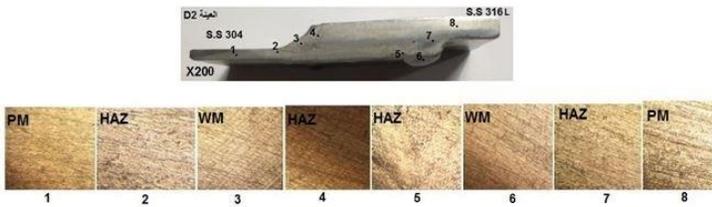
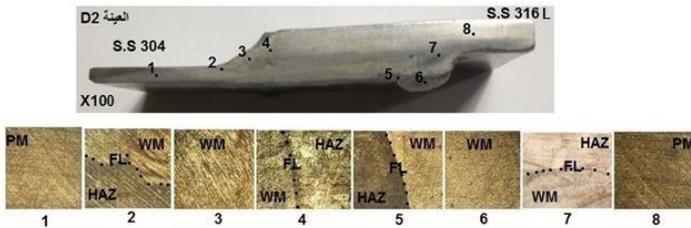
الشكل (5) البنية البلورية للعينة B بتكبير X100, X200



الشكل (6) البنية البلورية للعينة C بتكبير X100, X200

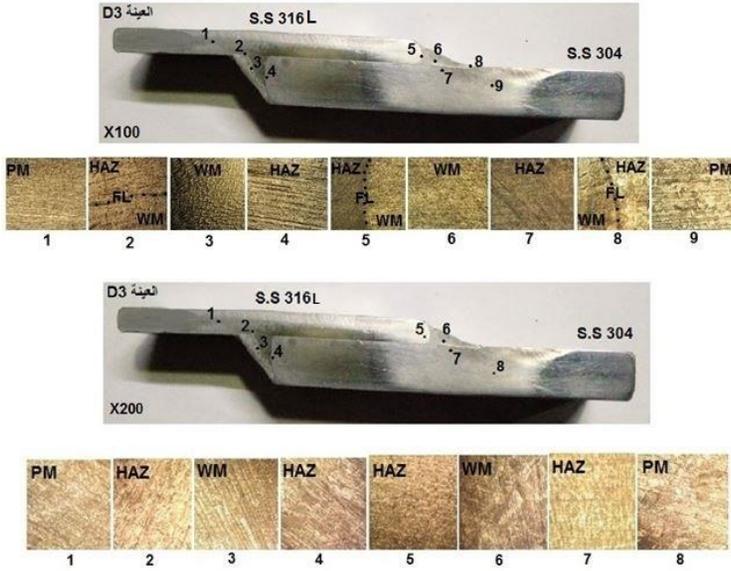


الشكل (7) البنية البلورية للعينة D1 بتكبير X100, X200

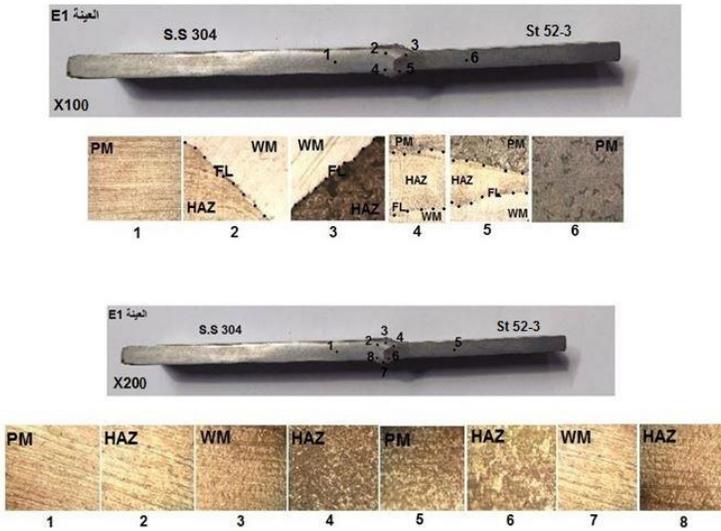


الشكل (8) البنية البلورية للعينة D2 بتكبير X100, X200

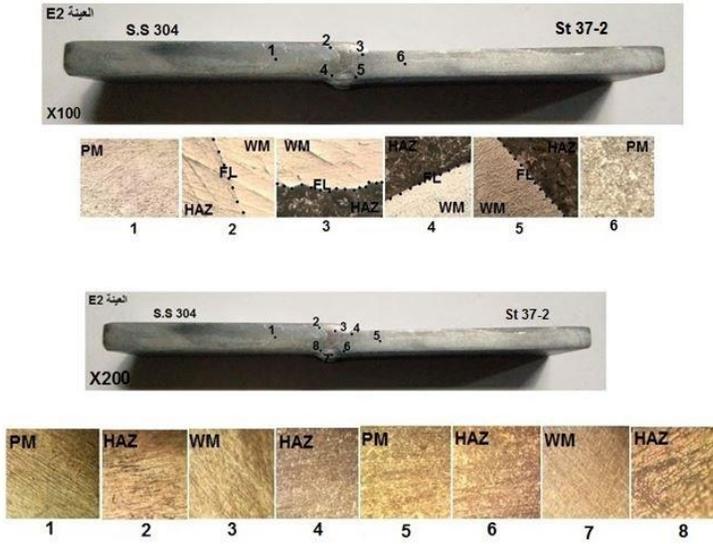
البنية البلورية والقساوة الماكروية لمناطق مختلفة من الوصلات للحامية الفولاذية متباينة التركيب الكيميائي والثخانة



الشكل (9) البنية البلورية للعينة D3 بتكبير X100, X200



الشكل (10) البنية البلورية للعينة E1 بتكبير X100, X200



الشكل (11) البنية البلورية للعيينة E2 بنكبير X100, X200

تم قياس القساوة الماكروية لكل عينة باستخدام طريقة روكويل HRA، ومن ثم تحويلها إلى ما يقابلها من قساوة فيكرز (HV) أو برينل (HB). [3] [P.P:374-376].

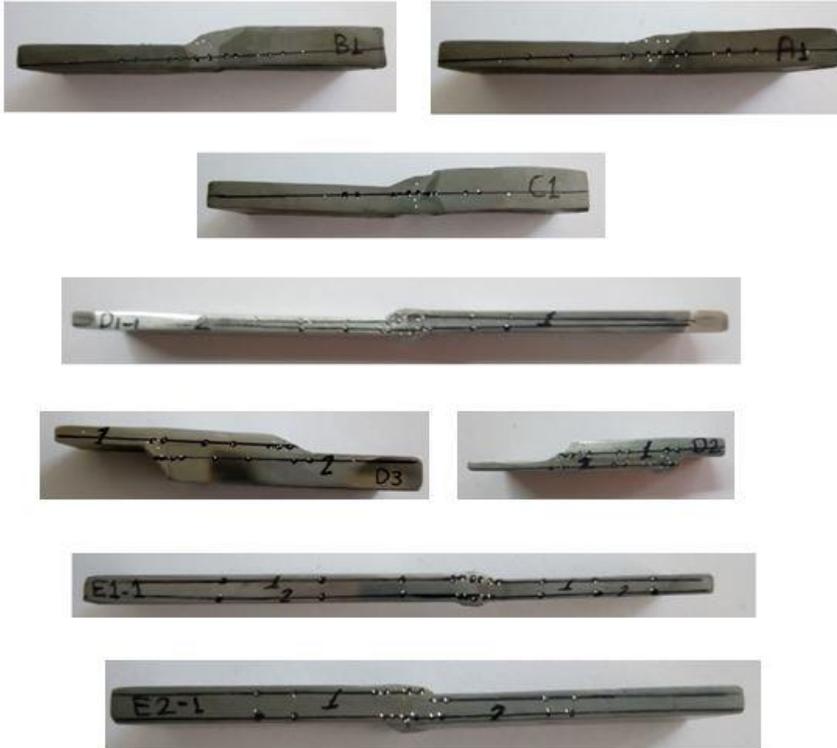
لقياس قساوة جميع مناطق الوصلة اللحامية تم أخذ خط أفقي يمر من هذه المناطق وتحديد نقطتين في كل منطقة لأخذ قراءتها، كما هو موضح بالشكل (12). ويوضح الجدول (7) القيم التي تم الحصول عليها:

الجدول (7) قيم القساوة للعينات الملحومة

رمز العينة	القساوة رقم الخط	PM		HAZ		WM		HAZ		PM	
		HRA	HB/HV								
A		49.8	152	53.3	171	44.6	126	45.8	132	43.4	121
B		46.1	134	50.2	154	47.5	140	51.3	160	52.2	164
C		47.7	140	58	209	49.2	149	46.2	135	42.5	118

البنية البلورية والقساوة الماكروية لمناطق مختلفة من الوصلات اللحامية الفولاذية متباينة التركيب الكيميائي والثخانة

D1	1	44.8	127	48.7	146	44.1	124	44.6	126	40.5	110
	2	45.2	130	44.2	124	44.9	127	44.2	124	43.4	121
D2	1	46.1	134	49.8	152	40	108	43.4	121		
	2			51.1	159	52.5	167	49.9	152	46.2	134
D3	1	47.9	141	51.1	159	49.1	148	49	148		
	2			47.7	140	45.8	132	47.2	138	46.8	137
E1	1	48	141	44.7	126	43.8	123	47	137	46.2	134
	2	44.8	127	44.5	126	44.7	127	45.4	130	45.1	129
E2	1	47.4	139	40	108	42.7	118	48	141	47.7	140
	2	47.2	138	42.7	118	45.9	132	45.1	129	45.4	130



الشكل (12) نقاط القساوة المأخوذة على العينات الملحومة

تبيّن قيم القساوة لمختلف مناطق الوصلات للحامية المدروسة عدم تشكل أطوار قاسية في البنى الناتجة، حيث لم تتجاوز قيم هذه القساوة المقدار HB 210.

الاستنتاجات:

- يتم لحام أنواع الفولاذ متباينة التركيب الكيميائي والثخانة باستخدام تقنية لحام الصهر بالقوس الكهربائي بجودة عالية عند اختيار بارامترات اللحام المثلى والمناسبة لكل حالة مدروسة.
- عند لحام الفولاذ متباين التركيب الكيميائي والثخانة لابد من الأخذ بالحسبان تغيرات قيم بارامترات نظام لحام الصهر بالقوس الكهربائي، وتأثير ذلك في كل من نوع البنى البلورية الناتجة لمناطق مختلفة من الوصلات للحامية والقساوة الماكروية لهذه المناطق، وهي: نوع الإلكترون المستخدم وقطره، شدة تيار اللحام، توتر القوس، سرعة اللحام، الطاقة الطولية (طاقة الدخل)، عمق الصهر، شكل حواف الوصلة للحامية.
- إن لحام صفائح الفولاذ الكربوني متباينة التركيب الكيميائي والثخانة مع بعضها البعض باستخدام إلكترون من الفولاذ الكربوني لم يغير من نوع البنية في منطقة حوض اللحام (الدرزة للحامية) وبقيت فريتية-برليتية. وبالمثل فإن لحام صفائح الفولاذ المقاوم للصدأ مع بعضها البعض باستخدام إلكترون من الفولاذ المقاوم للصدأ لا يغير من طبيعة البنية الأوستنيتية للوصلة للحامية.
- لحام صفائح الفولاذ الكربوني مع صفائح الفولاذ المقاوم للصدأ باستخدام إلكترون من الفولاذ المقاوم للصدأ أعطى بنية أوستنيتية للدرزة للحامية مع احتمالية حدوث انتشار بسيط لبعض ذرات الكربون من الفولاذ الكربوني باتجاه الدرزة للحامية.
- تجانس قيم القساوة في منطقة الدرزة للحامية للوصلات فولاذ كربوني-مقاوم للصدأ يدل على أن انتشار ذرات الكربون لم يؤثر على البنية الأوستنيتية لهذه المنطقة.

- تبين قيم القساوة للعينات المدروسة عدم تشكل أطوار قاسية في الوصلات اللحامية.

التوصيات:

- استخدام نطاق أوسع من فرق الثخانات للصفائح الفولاذية الملحومة معاً.
- استخدام تقنيات أخرى للحام الصفائح الفولاذية ذات الثخانات المختلفة.
- لحام الخلط الفولاذية مع أنواع أخرى من المعادن والمستخدم في مجالات الصناعة المختلفة.

References:

- 1- AVERY. R,1991- Pay Attention to Dissimilar- Metal Welds, **American Institute of Chemical Engineers**, 1-6.
- 2- ISLAM. T, 2014- **Analysis of Dissimilar Metal Welding of 1020 Mild Steel and 304 Stainless Steel**, Master Thesis. Production Engineering. Department of Mechanical Engineering. National Institute of Technology. India. 51.
- 3- SALAMEH, M., 2018- **Metals Science and their Alloys**. ACATAP, Syria, 432. (المراجع).
- 4- SALAMEH. M, & Mousa. E, 2005- **Manufacturing Methods (3) (Welding Metals)**. Damascus University, Syria, 544. (المراجع).
- 5- SHARAF. K, HADLAH. H, 2012- **Metallic Alloys and their Casting**. Damascus University, Syria, 597. (المراجع).
- 6- API. 2013- **Welding of Pipelines and Related Facilities**. API Publishing Service, (21st ed.). United States of America, 131.
- 7- AL-SABBAGH. A, 1998- **Welding of Metals**. Dar Al-Shorouk, (2th ed.). Lebanon, 482. (المراجع).
- 8- WANG. G, WANG. H, XUAN. F, & TU. S, (2013, 16-21 June). **Local fracture behavior and integrity assessment of a dissimilar metal welded joint in nuclear power systems**, 13th International Conference of Fracture, Beijing, China.
- 9- FLENNER ENGINEERING SERVICE, LLC. 2007- **Carbon Steel Handbook**. Electric Power Research Institute. The United States of America, 172.
- 10-PEREZ-QUIROZ. J, ALONSO-GUZMAN. E, MARTINEZ-MOLINA. W, CHAVEZ-GARCIA. H, RENDON-BELMONTE. M, MARTINEZ-MADRID. M, 2014- Electrochemical Behavior of the Welded Joint Between

- Carbon Steel and Stainless Steel by Means of Electrochemical Noise, **International Journal of Electrochemical Science**, Vol. 9, 6734-6750.
- 11-UL-HAMID. A, TAWANCY. H, ABBAS. N, 2004- Failure of weld joints between carbon steel pipe and 304 stainless steel elbows, **Engineering Failure Analysis**, Vol. 12. 181-191.
- 12-KRISHNAPRASAD. K, PRAKASH. R, 2009- Fatigue Crack Growth Behavior in Dissimilar Metal Weldment of Stainless Steel and Carbon Steel, **World Academy of Science, Engineering and Technology**, Vol. 56. 873-879.
- 13-RAJKUMAR. R, HAMIMI. F, CHARDE. N, 2012- Investigating the Dissimilar Weld Joints of AISI 302 Austenitic Stainless Steel and Low Carbon Steel, **International Journal of Scientific and Research Publications**, Vol. 2. No.11. 2250-3153.
- 14-MAEKAWA. A, KAWAHARA. A, SERIZAWA. H, MURAKAWA. H, 2016- Prediction of Weld Residual Stress in a Pressurized Water Reactor Pressurizer Surge Nozzle, **Journal of Pressure Vessel Technology**, Vol. 138. 1-11.
- 15-SAINI. M, ARORA. N, PANDEY. C, MEHDI. H, 2014- Mechanical Properties of Bimetallic Weld Joint Between SA 516 Grade 65 Carbon Steel and SS 304L for Steam Generator Application, **International Journal of Research in Engineering and Technology**, Vol. 3. No.7. 39-42.
- 16-EL-SHENNAWY. M, MASOUD. M, (2008, 8-10 January). **Similar and Dissimilar Welding in Special Application**, The ninth Cairo University International Conference on Mechanical Design and Production, Cairo, Egypt.
- 17-OZLATI. A, MOVAHEDI. M, & MOHAMMADKAMAL. H, 2016- Upset Resistance Welding of Carbon Steel to

- Austenitic Stainless Steel Narrow Rods, **Journal of Materials Engineering and Performance**.
- 18-LIPPOLD. J, 2015- **Welding Metallurgy and Weldability**.. John Wiley & Sons, Inc., The United States of America, 421.
- 19-POURALIAKBAR. H, HAMEDI. M, KOKABI. A, H, NAZARI. A, 2014- Designing of CK45 Carbon Steel and AISI304 Stainless Steel Dissimilar Welds, **Materials Research**, Vol. 17. No. 1. 106-114.
- 20-GUIRALDENQ. P, DUPARC. O, 2017- The genesis of the Schaeffler diagram in the history of stainless steel, **Metallurgical Research Technology**, Vol. 114. No. 613. 1-9.
- 21-UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. 2011- **Surge Nozzle NDE Specimen Mechanical Stress Improvement Analysis**. Pacific NorthWest National Laboratory, The United States of America, 52.