Estimation of some mechanical properties for similar & dissimilar Welded joints

Lect. Dr. Abdullah Daie'e Assi
Dean of Technicality College – Al-Missayab

Abstract

This research deals with the choice of the suitable filler metal to weld the similar and dissimilar metals (Low carbon steel type A516 & Austenitic stainless steel type 316L) under constant conditions such as, plate thickness (6 mm), voltage (78 v), current (120 A), straight polarity. This research deals with three major parts.

The first parts Four types of electrodes were used for welding of dissimilar metals (C.St A516 And St.St 316L) two from mild steel (E7018, E6013) and other two from austenitic stainless steel (E309L, E308L) various inspection were carried out include (Visual T., X-ray T., δ- Ferrite phase T., and Microstructures T.) and mechanical testing include (tensile T., bending T. and micro hardness T.)

The second parts done by used the same parameters to welding similar metals from (C.St A516) Or (St.St 316L).

The third parts deals with welding of dissimilar weldments (C.St And St.St) by two processes, gas tungsten are welding (GTAW) and shielded metal are welding (SMAW).

The results indicated that the spread of carbon from low carbon steel to the welding zone in the case of welding stainless steel elect pole (E309L) led to Configuration Carbides and then high hardness the link to high values compared with the base metal. In most similar weldments showed hardness of the welding area is higher than the hardness of the base metal. The electrode (E309L) is the most suitable to welding dissimilar metals from (C.St A516 With St.St 316L). The results also showed that the method of welding (GTAW) were better than the method of welding (SMAW) in dissimilar welded joints (St.St 316L with C.St A516) in terms of irregular shape and integrity of the welding defects, as well as characterized this weldments the high-lift and resistance ductility good when using the welding conditions are similar.

تقيم بعض الخواص الميكانيكية لوصلات اللحام المتشابهة وغير المتشابهة

م.د. عبدالله ضايع عاصي
(عميد الكلية التقنية – المسيب)

خلاصة البحث

تناول هذا البحث إنتاج وصلات لملحومات متشابهة وغير متشابهة من الفولاذ منخفض الكربون نوع (A516) مع الفولاذ مقاوم الصدأ الاوستنايتي نوع (316L) باختيار أقطاب لحام مختلفة مع ثبات سمك الصفيحة (6mm) وتيار اللحام (120A) والقطبية (ACSP) والفولتية (78V) وتناول البحث ثلاثة جوانب هي:

الجانب الأول ـ تم اختيار أربعة أنواع من أقطاب اللحام للوصلات غير المتشابهة (أي معدنيين غير متشابهين)، اثنان من هذه الأقطاب هما من نوع الفولاذ الكربوني أحدهما قطب منخفض الهيدروجين (E7018) والقطب الآخر عالي الهيدروجين (E6013) أما القطبان الثالث والرابع فقد كانا من الفولاذ مقاوم الصدأ اوستنايتي (E309L) و (E308L) على التوالي.وتم أجراء فحوصات مختلفة شملت (الفحص العياني و التصوير بالأشعة السينية و فحص دلتا ـ فرايت وفحص البنية المجهرية). وكذلك تم أجراء الاختبارات الميكانيكية ومنها (اختبار الشد و اختبار ألحني واختبار الصلادة الدقيقة).

الجانب الثاني ـ تم لحام وصلات متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ نوع (316L) والفولاذ منخفض الكاربون نوع (A516) بطريقة لحام القوس الكهربائي المعدني (SMAW) باستعمال أربعة أنواع من أقطاب اللحام هي (E7018 ، E6013 ، E309L ، E308L) وتم أجراء نفس الفحوصات والاختبارات السابقة.

الجانب الثالث ـ تم لحام الوصلات من معدنين غير متشابهين من الفولاذ مقاوم الصدأ الاوستنايتي (316L) مع الفولاذ منخفض الكاربون (A516) باستعمال طريقتين لحام هما لحام القوس الكهربائي المعدني (SMAW) وطريقة القوس بقطب التنكستن المحمي بالغاز الخامل (GTAW) ثم أجراء مقارنة بين الطريقتين من حيث الخواص الميكانيكية والميتالورجية للملحومات.

اوضحت النتائج أن انتشار الكربون من الفولاذ منخفض الكربون إلى منطقة اللحام في حالة اللحام بقطب الفولاذ مقاوم الصدأ (E309L) أدى إلى تكوين كاربيدات ومن ثم ارتفاع صلادة الوصلة إلى قيم عالية مقارنة مع المعدن الأساس. وفي معظم الملحومات المتشابهة أظهرت صلادة منطقة اللحام أعلى من صلادة المعدن الأساس. أما في حالة الملحومات غير المتشابهة (St.St 316L مع C.St A516) فكانت أعلى صلادة هي في منطقة (HAZ) وقد وصلت الصلادة إلى قيم أعلى من منطقة اللحام، وهذا يعني ظهور قمتين للصلادة العظمى (Max hardness) (قمة في كل منطقةHAZ) لكلا المعدنين غير المتشابهين وهاتين القمتين غير متساويتين وتكون الصلادة أعلى في الجانب الذي يكون فيه القطب مختلفاً عن نوعية المعدن الأساس أي انه عند اللحام بقطب (E6013) ظهرت القمة العليا في (HAZ) القريب من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) أما عند اللحام بقطب(E309L)، فظهرت القمة العليا في (HAZ) القريب من الفولاذ منخفض الكاربون في حالة الملحومات غير المتشابهة. كما أظهرت النتائج أن طريقة اللحام (GTAW) كانت أفضل من طريقة اللحام (SMAW) في لحام الوصلات الملحومة غير المتشابهة (St.St 316L مع C.St A516) من ناحية انتظام شكل اللحام وسلامته من العيوب وكذلك امتازت هذه الملحومات بمقاومة شد عالية ومطيليه جيدة عند استعمال ظروف لحام متشابهة.

1- المقدمة :- (Introduction)

تتعرض العديد من المواد الهندسية التي تستعمل في التطبيقات إلى إجهادات ميكانيكية مختلفة وكذلك تتطلب الظروف استعمال معادن مختلفة حسب طبيعة العمل المناط بالمعدة أو الجهاز وأحيانا كثيرة تفرض عملية توفر الخامات والعامل الاقتصادي اختيار محدد لذلك تمت الدراسة لعملية لحام معادن مختلفة شائعة الاستعمال ونتيجة لتطور الصناعة وبروز الحاجات إلى الأجزاء والهياكل الكبيرة تم ربط الأجزاء الهندسية المتشابهة أو المختلفة مع بعضها البعض بعدة طرائق مختلفة منها الربط بالبرشام (Rivet) و المسامير (Pins) وباللحام (Welding) ومن أكثر الطرائق المتبعة في وصل الأجزاء هي طريقة اللحام التي تعد من أهم العمليات التصنيعية ذات الاستعمال الواسع في مجال صناعة السفن و خطوط الأنابيب والمفاعلات النووية وأوعية الضغط والجسور والهياكل المختلفة ... الخ ، لذا فمن الضروري جداً دراسة ومعرفة الأسلوب الملائم لعملية لحام معادن مختلفة وتأثير متغيرات اللحام على الخواص الميكانيكية للمعادن المراد لحامها وكذلك تأثير ذلك في التشوهات والعيوب الحاصلة في الوصلات الملحومة [1] .

2- أهداف البحث Research objectives

يهدف البحث الحالي إلى تحقيق آلاتي :-

1- دراسة تأثير الأقطاب مختلفة الأنواع في لحام المعادن المتشابهة وغير المتشابهة على حد سواء لتحديد تأثير ذلك على الخواص الميكانيكية.
2- تنفيذ عمليات فحص مختلفة منها أتلافيه وأخرى غير أتلافيه لوصلة لحام جيدة وملحومة بأقطاب لحام صحيحة الاختيار سواء كانت المعادن متشابهة مثل لحام (C.St) مع (C.St) أو (St-St) مع (St-St) آو مختلفة مثل لحام (C.St) مع (St-St) لبيان مدى تأثير ذلك على الخواص الميكانيكية.
3- أجراء مقارنه لوصلة لحام من معادن مختلفة ملحومة بقطب لحام نوع (E309L) بين طريقتي القوس الكهربائي (SMAW) و(GTAW) و مدى تأثير ذلك على الخواص الميكانيكية.

3- الجانب العملي (Experimental Work)

3-1- الجانب العملي (Experimental Work)

لأن البحث هو لحام المعادن غير المتشابهة من حيث المعدن الأساس وبطريقتي لحام (SMAW) و(GTAW) وباستخدام أقطاب لحام مختلفة لذلك تم استخدام نوعين من الفولاذ وهما :-

1- الفولاذ المقاوم للصدأ الاوستنايتي (St-St 316L)والذي يمتاز بالخصائص التالية :- [1,2]
أ- سبيكة عالية المتانة .
ب- ذات مقاومة عالية للتآكل الكيماوي ولمدى واسع جداً من أوساط التآكل المختلفة
جـ- تمتلك قابلية لحام جيدة .
د- تمتلك قابلية تشغيل جيدة .

1- المعدن الآخر هو الفولاذ المنخفض الكربون A516 Mild Steel
ومن خصائص أو مميزات هذا النوع هي : قابلية لحام جيدة .

3-2 التركيب الكيميائي Chemical Composition

أن نسب التركيب الكيماوي لخصت في الجدول (1) والذي يتضمن النسب حسب المواصفة القياسية (DIN) [1, 3].

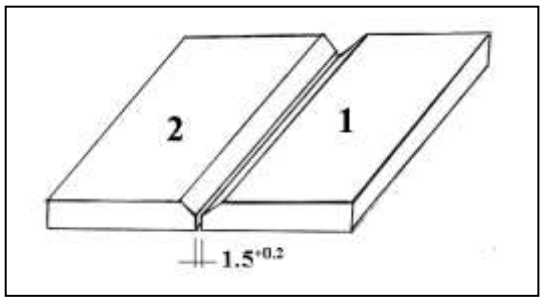
جدول (1) يبين التركيب الكيماوي للفولاذ المقاوم للصدأ الاوستنايتي نوع (316L) والفولاذ المنخفض الكاربون (A516) مع المواصفة القياسية (DIN) للمعدنين[1,3] .

العنصر	الفولاذ المقاوم للصدأ (316L)		الفولاذ منخفض الكربون (A516)	
	القيمة الفعلية wt %	القيمة القياسية wt %	القيمة الفعلية wt %	القيمة القياسية wt %
C	0.03	0.03	0.186	0.21
Mn	0.624	0.5-0.8	0.97	0.6 – 0.9
Si	0.50	1.00	0.24	0.13 –0.45
Cr	16.6	16.0-18.0	0.058	-
Ni	8.94	10-14	0.023	-
Cu	0.18	-	>0.73	-
Mo	3.79	2-3	<0.005	-
S	0.009	0.03≤	-	0.04
Ti	0.021	-	0.008	-
P	-	0.045	-	0.035
Co	0.14	-	<0.005	-

-	0.006	-	-	V
-	0.007	-	-	W
-	0.035	-	-	Al
-	<0.004		0.016	Nb
Rem .	Rem .	Rem .	Rem .	Fe

3-3 عمليات اللحام

تم تهيئة القطع لعمليات اللحام المختلفة وذلك بتنظيف قطع الفولاذ المنخفض الكاربون من خلال استخدام القصف بالرمل ، أما قطع الفولاذ المقاوم للصدأ فقد أجريت عليها عملية التنظيف بالكحول لإزالة الأتربة والدهون من مناطق اللحام ، ثم تم وضع القطع بشكل ملائم لتكون حافة تناكبية مشطوفة من جهة واحدة (single v- butt joint) وكما موضح في الشكل (1)



شكل (1) وضعيه العينة أثناء اللحام [3]

أ- تم اختيار قطع متشابهة من فولاذ المنخفض الكاربون (Mild Steel) (المعدن الأول والثاني) وتم لحام بطريقة القوس المعدن المغلف (Shielded Metal Arc Welding) لحام يدوي وذلك باستخدام أقطاب لحام بقطر (3.25) ملم وفولتية مقدارها 78 فولت وتيار مقداره 120 أمبير وتم استخدام أربعة أنواع من أقطاب اللحام وهي (E309L)، (E308L) وهما أقطاب فولاذ مقاوم للصدأ. و (E 6013)، (E 7018) وهما أقطاب فولاذ منخفض الكاربون وبذلك تم الحصول على أربعة ملحومات.

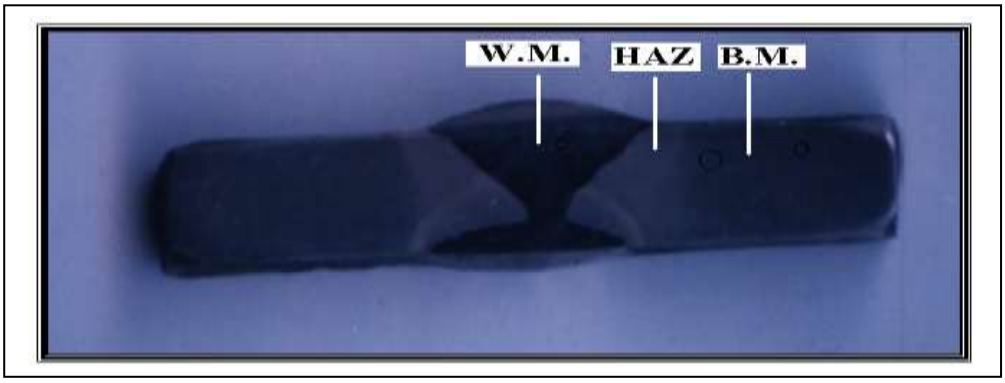
ب- تم اختيار قطع متشابهة من الفولاذ المقاوم للصدأ (St-St 316 L) (المعدن الأول والثاني) وتم أجراء نفس الخطوات أعلاه حيث تم اللحام بماكنة لحام تركية الصنع نوع (Nuris RCT 650 C) وباستخدام أقطاب لحام (E309L) و (E 308L) و(E 6013) و(E 7018) وبذلك تم الحصول على أربع ملحومات جديدة .

جـ- ثم أعيدت نفس الخطوات السابقة ولكن بتغير القطع المتشابهة حيث استخدمت قطع غير متشابهة من الفولاذ المنخفض الكاربون (Mild Steel) (المعدن الأول) مع قطع من الفولاذ المقاوم للصدأ (316L) (المعدن الثاني) واعدنا عملية أجراء اللحام بنفس الأسلوب والمتغيرات لنحصل على أربع ملحومات جديدة .وحسب الجدول (2) .
د- و باستخدام طريقة لحام قوس التنكستن المحمي بالغاز الخامل (GTAW) تم لحام ثلاث عينات من الفولاذ المنخفض الكاربون مع الفولاذ المقاوم للصدأ وباستخدام أقطاب لحام بنوعيات مختلفة .وهي موضحة حسب التسلسل (13) و(14) و(15) في الجدول (2).

جدول (2) نوع وصلة اللحام ونوع القطب و طريقة اللحام

ت	المعدن الأول	المعدن الثاني	طريقة اللحام	قطب اللحام
1	C.Steel	C.Steel	SMAW	E309L
2	C.Steel	C.Steel	SMAW	E308L
3	C.Steel	C.Steel	SMAW	E6013
4	C.Steel	C.Steel	SMAW	E7018
5	St .St	St .St	SMAW	E309L
6	St .St	St .St	SMAW	E308L
7	St .St	St .St	SMAW	E6013
8	St .St	St .St	SMAW	E7018
9	C.St	St .St	SMAW	E309L
10	C.St	St .St	SMAW	E308L
11	C.St	St .St	SMAW	E6013
12	C.St	St .St	SMAW	E7018
13	C.St	St .St	GTAW	ER309L
14	C.St	St .St	GTAW	ER308L
15	C.St	St .St	GTAW	ER70-S6

والشكل (2) يوضح صورة العينة رقم (1) من الجدول (2) حيث يظهر فيها شكل اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة (HAZ) و المعدن الأساس.و جدول رقم (3) يمثل التركيب الكيماوي لأقطاب لحام الفولاذ المقاوم للصدأ.



شكل (2) صورة فوتوغرافية توضح المناطق الثلاث للوصلة الملحومة.من الفولاذ المنخفض الكاربون

ولغرض معرفة التركيب الكيماوي لأقطاب اللحام المستخدمة في عمليات اللحام سواء كان لحام القوس اليدوي (SMAW) أو قوس التنكستن (GTAW) و معرفة تأثيرها على التركيب الكيماوي لوصلة اللحام ندرج الجدولان رقم (3) و(4) اللذان يوضحان التركيب الكيماوي لأقطاب اللحام للفولاذ المقاوم للصدأ والفولاذ المنخفض الكاربون على التوالي.

جدول رقم (3) التركيب الكيماوي لأقطاب لحام الفولاذ المقاوم للصدأ wt %
[3]

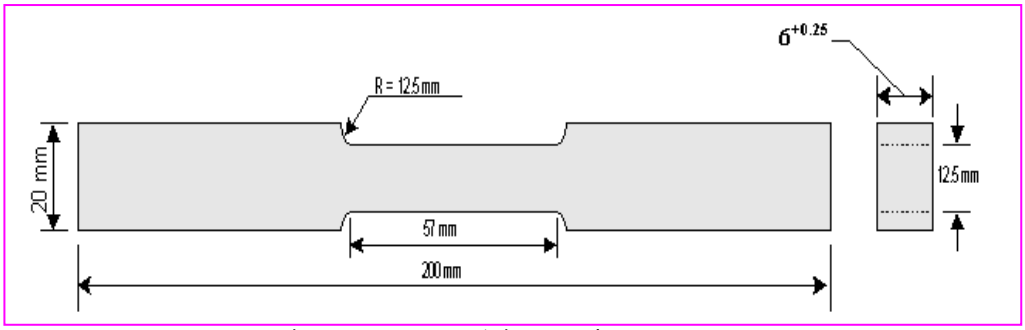
Elec. Type	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	N	Cu
E308L	0.04	18-21	9-11	0.75	0.5-2.5	0.9	0.04	0.03	0.75	0.75
E309L	0.04	22-25	12-14	0.75	0.5-2.5	0.9	0.04	0.03	0.75	0.75
ER308L	0.03	19.5-22	9-11	0.75	1-2.5	0.3-0.65	0.03	0.03	0.75	0.75
ER309L	0.03	23-25	12-14	0.75	1-2.5	0.3-0.65	0.03	0.03	0.75	0.75

جدول رقم (4) التركيب الكيماوي لأقطاب لحام فولاذ كار بوني Carbon steel

Elec. Type	C	Mn	P	S	Mo	Si	Ni	Gr
E6013	0.08	0.39	0.02	0.015	-	0.24	-	-
E7018	0.045	1.1	0.015	0.14	0.053	0.4	0.0355	0.018

4-3 اختبار الشد Tensile Test

بعد أن تم أجراء عمليات اللحام وعمليات الفحص بالأشعة السينية لكافة القطع الملحومة وتم تأشير مناطق الفشل تمت بعمليات تقطيع شرائح من وصلة اللحام لتكون مناسبة لتشغيلها لاحقاً على مكائن التشغيل الميكانيكية (التفريز) وأجريت عمليات التقطيع على المقص الهيدروليكي في ورش الشركة العامة للمعدات الهندسية الثقيلة ثم على ماكنة التفريز العمودي تم تشغيل عينات فحص الشد وفق المواصفة القياسية (ASTM-E8) وكما موضح في الشكل (3)[4] .

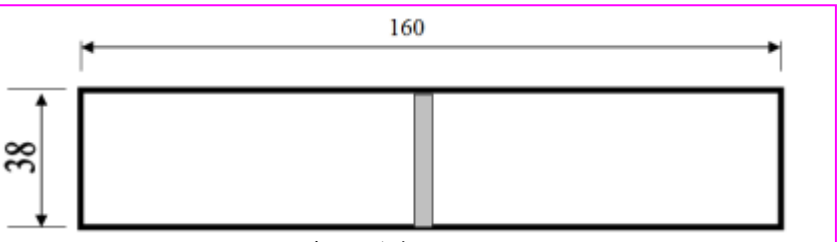


شكل (3) أبعاد عينة فحص الشد القياسية

وقد أجريت عمليات التصنيع في قسم المكائن والمعدات / معهد تكنولوجيا – بغداد وتمت الفحوصات في وزارة العلوم والتكنولوجيا .

5-3 فحوصات الانحناء Bending Tests

تم على ماكنة التفريز العمودي تشغيل قطع عينات ألحني (الانحناء) في قسم المكائن والمعدات / معهد تكنولوجيا – بغداد و أجريت عمليات الفحص في وزارة العلوم والتكنولوجيا ، أما الشكل (4) فيوضح أبعاد عينة فحص ألحني.



شكل (4) عينة فحص ألحني

6-3 فحص الصلادة Hardening Test

تمت عملية فحص الصلادة للقطع الملحومة على مرحلتين –

وقد تم قياس الصلادة بطريقة برنيل في المرحلة الأولى حيث استخدمت كرة فولاذية صلدة قطرها 2.5 ملم وبتسليط حمل مقدار 187.5 كيلو نيوتن لمدة ثلاثين ثانية لعينات ملحومة بطريقة لحام القوس اليدوي SMAW لغرض قياس الصلادة في ثلاث مناطق ،هي منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة والمعدن الأساس . أما الفحص الثاني (فحص الصلادة الدقيقة) فقد تم قياس الصلادة الفيكرية باستخدام حمل مقداره 500 غرام لمدة 30 ثانية وتم التركيز على مسح لعينات اللحام لأخذ قراءات دقيقة لكامل وصلة اللحام ابتداء من معدن اللحام والمنطقة المتأثرة حرارياً والمعدن الأساس وعلى جانبي اللحام لكل من الوصلات المتشابهة وغير المتشابهة وبمسافة مقدارها (1 ملم) بين قراءه وأخرى .

7-3 التصوير ألمجهري للعينات (Microscope)

تمت عمليات فحص التركيب ألمجهري في مختبرات دائرة بحوث فيزياء وكيمياء المواد / وزارة العلوم والتكنولوجيا باستخدام حاسوب مع مجهر ضوئي مجهز بكاميرا رقمية .

8-3 فحص الدلتا- فرايت (δ-Ferrite)

تم قياس قيمة الدلتا –فرايت (Ferrite No.) لمنطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة باستخدام جهاز (Ferrite Content Meter 1.053) متنقل المزود بمجس قطر كرة التماس (1.5) ملم تابع لشركة المعدات الهندسية الثقيلة لغرض تحديد قيمة الدلتا – فرايت ونمط توزيعها في وصلة اللحام إذ يمكن تعريف قيمة الدلتا – فرايت (Ferrite No.) المقاسة بقوة التجاذب الحاصلة بين المجس المغناطيسي (Magnetic Probe) والمنطقة المفحوصة ، ويعد هذا النوع من الفحوصات ضروريا خاصة عند لحام سبائك الفولاذ المقاوم للصدأ وذلك لبيان تأثير قيمة الدلتا –فرايت على نوعية الأطوار التي تظهر في منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة .

4- مناقشة نتائج فحص التصوير ألشعاعي بالأشعة السينية (X-Ray Radiography)

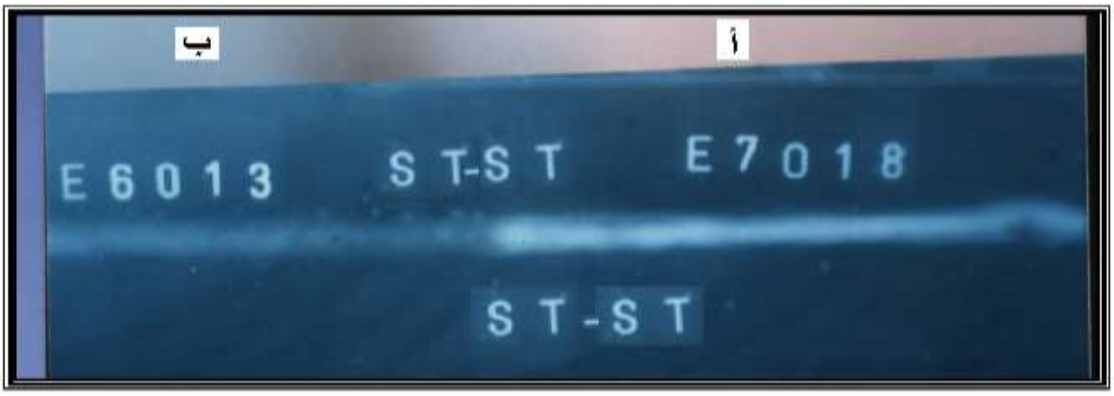
4-1 الملحومات المتشابهة Similar Weldments

أظهرت نتائج التصوير ألشعاعي بالأشعة السينية أن الملحومات المتشابهة من C.Steel مع C. Steel عند لحاميها بأقطاب فولاذ منخفض الكاربون (E7018 &E6013) كانت مقبولة ولم تظهر أي عيوب ألا في بداية خط اللحام ونهايته وهذا أمر طبيعي. وقد تم إيضاح ذلك في الجانب النظري والإشارة إلى المعالجات من خلال استبعاد بداية ونهاية عمليات اللحام في الفحوصات الميكانيكية اللاحقة و عندما تم لحام الفولاذ الكربوني (C.st مع C.st) بأقطاب لحام فولاذ مقاوم للصدأ (E309L ,E308 L) ، كانت عمليات اللحام جيدة بل لم تظهر أي عيوب عندما تم لحاميها بقطب (E308 L) مما يعني نجاح هذا المقطب في لحام تلك الوصلة أما القطب (E309L) وأيضا اثبت قبولا ولكن بدرجة اقل حيث أظهرت صورة الأشعة السينية وجود عيب على شكل نقطة سوداء مما يعني وجود فجوة هوائية في منتصف اللحام مما يتطلب عمليات إعادة الإصلاح من خلال حفر المنطقة سواء بالتشغيل الميكانيكي أو استخدام الكوسرة اليدوية و تنظيفه و إعادة لحام ولكن استبعدت منطقة الفشل في اختيار عينات لفحص الشد وفحص الانحناء اللاحقة . أما العينات المتشابهة من معدن الفولاذ المقاوم للصدأ عندما تم لحاميها بأقطاب الفولاذ الكربوني المنخفض (E7018 , E6013) فقد أثبتت نتائج مقبولة بدرجة كبيرة حيث لم يظهر أو يشاهد أي عيب أو خلل في حالة استخدام القطب (E7018) أما في حالة استخدام القطب (E6013) فقد أظهر عيبا بسيطا ويتطلب معالجته بنفس الطريقة السابقة وقد تم استبعاد تلك المنطقة في عمليات الفحص اللاحقة والشكل رقم (5) يوضح الصورة المأخوذة بالأشعة السينية لوصلة لحام متشابهة من الفولاذ المقاوم للصدأ ، وعندما تم استخدام أقطاب اللحام (E308L , E309L) في لحام وصلة متشابهة من الفولاذ المقاوم للصدأ فقد أثبتت الفحوصات نجاح وضوح النفاذية بشكل كامل والحصول على ملحومة جيدة.

4-2 الملحومات غير المتشابهة Dissimilar Weldment

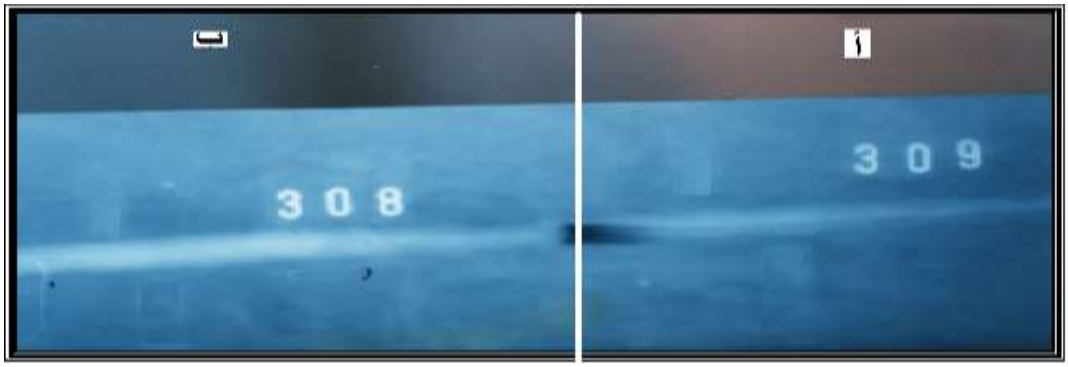
أما العينات غير المتشابهة مثل وصلة فولاذ كربوني C-St مع فولاذ مقاوم للصدأ فعندما تم اللحام بطريقة القوس اليدوي SMAW وباستخدام أقطاب لحام فولاذ كار بوني نوع (E6013 &E7018) فقد أظهرت صور الأشعة السينية عملية اللحام بدون عيوب وبنفاذية كاملة والشكل(6) يوضح صورة الأشعة السينية لوصلة غير متشابهة من الفولاذ الكربوني المنخفض مع الفولاذ المقاوم للصدأ ، وقد تم أعدنا لحام تلك الوصلة لغرض التأكد من مطابقة النتائج وأثبتت عملية اللحام عدم حصول أي فشل. أما في حالة استخدام أقطاب لحام نوع فولاذ مقاوم للصدأ نوع (E308L & E309L) فان عملية اللحام عند استخدام القطب E309L كانت جيدة أما عند استخدام القطب E308L فقد اظهر وجود عيب على شكل نقطة سوداء مما يعني وجود فجوة هوائية صغيرة ألا أنها تعتبر حاله عيب يتطلب إصلاحها والشكل (7) يوضح صورة الأشعة السينية لوصلة غير متشابهة من الفولاذ الكربوني المنخفض مع الفولاذ المقاوم للصدأ باستخدام أقطاب لحام فولاذ مقاوم للصدأ نوع (E308L & E309L). ولغرض التأكد من سلامة استخدام تلك الأقطاب E308L & E309L في لحام وصلة لحام غير متشابهة (C-St +St-St) فقد تم إعادة عملية اللحام وبأقطاب جديدة وتم تنظيف القطع جيدا ومراقبة عملية اللحام بدقه وعندما تم فحص القطع لم تظهر أي عيوب مما يعني أن سبب الخلل السابق كان سواء اللحام وليس سوء استخدام قطب اللحام. وقد تم تكرار عملية لحام قطع غير متشابهة مع بعضها (C-S+ St-St) بطريقة قوس التنكستن المغلف بغاز ألا ركون الخامل GTAWوباستخدام أقطاب E308L & E309L وهي أقطاب لحام فولاذ مقاوم للصدأ وأيضا باستخدام قطب

ER70-S6 وهو قطب فولاذ كار بوني طري وعندما أجريت عمليات فحص الأشعة السينية بينت نفاذية كاملة وبدون عيوب.



الشكل (5) (X-RAY) لوصلة اللحام معدنSt-St 316L باستخدام أقطاب لحام (E6013) و(E7018)

الشكل (6) لوصلة غير متشابهة من(St-St +C-St) باستخدام أقطاب لحام (E6013) و(E7018)



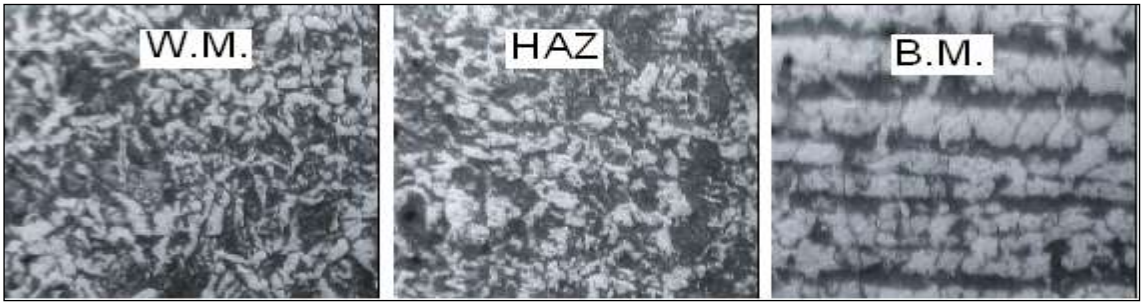
الشكل (7) لوصلة غير متشابهة من (St-St +C-St) باستخدام أقطاب لحام (E309L) و(E308L)

5- فحص البنية المجهرية Microstructure Inspection

يصاحب عملية اللحام تباين حراري يتراوح ما بين درجة حرارة الانصهار في بركة اللحام ودرجة حرارة القطع الابتدائية بعيدا عن بركة اللحام تتعرض خلاله المنطقة المجاورة لمعدن اللحام إلى دوره حرارية شديدة تؤدي إلى حدوث تغيرات مجهرية في المنطقة المتأثرة بالحرارة (HAZ) حيث تحدث تغيرات بالحجم الحبيبي لوصلة اللحام من مركزها إلى داخل المنطقة المتأثرة بالحرارة . وتعتبر الفحوصات الميتالورجية من أهم التقنيات المستخدمة لدراسة البنية المجهرية [5].

5-1الملحومات المتشابهة Similar Element

أوضحت الفحوصات بان منطقة اللحام في الفولاذ الكربوني المنخفض عبارة عن فرأيت أولى بشكل شبكة أو أعمده متوازية ونلاحظ بوضوح بلورات البرلايت والبيانايت والمارتنسايت . وبما أن حجم بلورات الفرايت يعتمد على الدورة الحرارية للحام وان الطرق التي تم العمل عليها في البحث(GTAW & SMAW) تكون الدورة الحرارية فيها متوسطة لذلك بلورات الفرايت فيها صغيرة ،إما في منطقة معدن اللحام فتكون الحبيبات كبيرة بسبب انصهارها (ثم انجمادها) تليها المنطقة المتأثرة حراريا تكون بلوراتها ناعمة (في منطقة المراجعة) ثم بعد ذلك تأتى منطقة المعدن الأساس الذي تكون بلوراتها عموما ضمن الحجم الطبيعي حيث لا تتغير مع عملية اللحام لان الحرارة التي تصل لها تكون اقل من الدرجة الحرجة (.Critical Temp) والأشكال (8)،(9) توضح صور التركيب ألمجهري للملحومات المتشابهة من الفولاذ منخفض الكاربون (A516) ملحوم بأقطاب لحام نوع (E308L,E309L,E6013,E7018) على التوالي بطريقة (SMAW) . والأشكال(10)،(11) توضح صور التركيب ألمجهري للملحومات المتشابهة من الفولاذ المقاوم للصدأ (16L3) ملحوم بأقطاب لحام نوع (E308L,E309L,E6013,E7018) على التوالي بطريقة (SMAW) حيث تكون منطقة اللحام فرايت واستنايت قد حاولنا من خلال أسلوب اللحام التقليل من تكون طور والمارتنسايت في المنطقة المتأثرة حراريا لأنه طور صلد وهش وبالتالي يؤدي إلى التشقق .

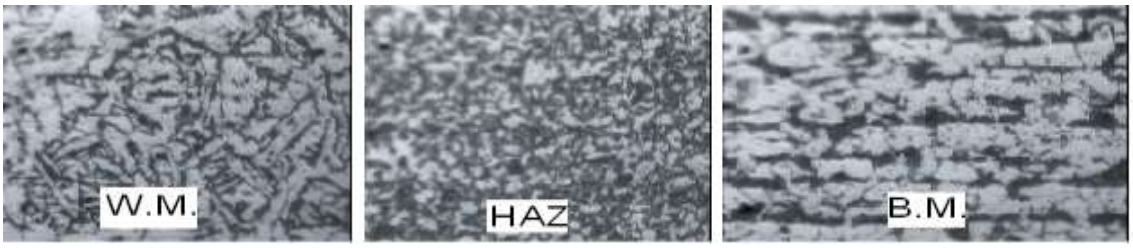


شكل (8) التركيب ألمجهري للمناطق المختلفة في وصلة لحام (SMAW) للفولاذ الكربوني المنخفض (A516) باستخدام قطب (E7018).قوة التكبير (250X).

5-2 الملحومات غير المتشابهة Dissimilar Element

معظم حالات اللحام المستخدمة في هذه الدراسة كانت عبارة عن وصلات غير متشابهة سواء من حيث طبيعة المعدن أو طبيعة قطب اللحام وفي معظم الوصلات الغير متشابهة انتشر الكارتون على امتداد الحدود البلورية متحدا مع الكروم مكون كاربيدات غنية بالكروم وبالتالي انخفاض نسبة الكروم في المناطق المتأثرة حراريا وخاصة جانب الفولاذ المقاوم للصدأ الذي قد يجعله عرضه للتآكل الكيماوي مع مرور الزمن اعتمادا على الزمن ودرجة الحرارة وطبيعة عمل تلك الوصلة . والأشكال (12)،(13) توضح صور البنية المجهرية للملحومات غير المتشابهة (فولاذ مقاوم للصدأ 316L مع فولاذ منخفض الكاربون A516) باستخدام أقطاب لحام نوع (E308L,E309L,E6013,E7018) على التوالي وقد بينت أن منطقة اللحام عند الحد الفاصل بين المعدنين تكون متباينة في التركيب ألمجهري بسبب التخفيف (Dilution) الحاصل للعناصر مما يكون ثلاث مناطق أساسية.

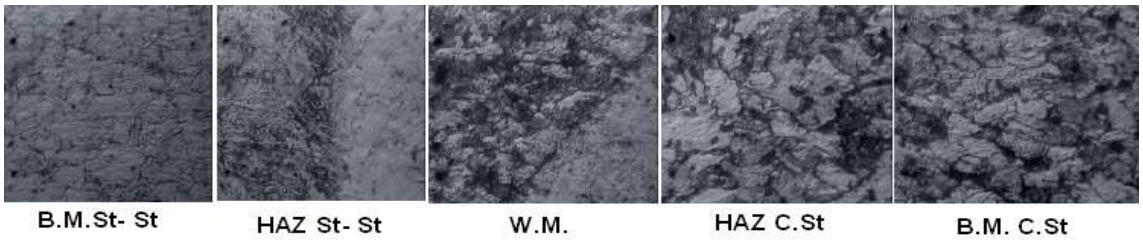
1. مارتنسايت نقي (المنطقة القريبة من الفولاذ منخفض الكاربون).
2. اوستنايت + مارتنسايت + فرايت (المنطقة القريبة من الحد الفاصل من جهة الفولاذ المقاوم للصدأ).
3. اوستنايت + فرايت (منطقة اللحام في الفولاذ المقاوم للصدأ).



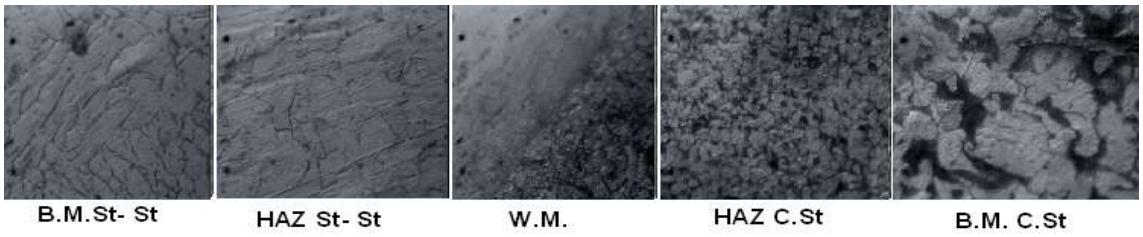
شكل (9) التركيب ألمجهري للمناطق المختلفة في وصلة لحام (SMAW) للفولاذ الكربوني المنخفض (A516) باستخدام قطب (E6013).قوة التكبير (250X).

شكل (10) التركيب ألمجهري للمناطق المختلفة في وصلة لحام (SMAW) للفولاذ المقاوم للصدأ (316L) باستخدام قطب (E7018).قوة التكبير (250X).

شكل (11) التركيب ألمجهري للمناطق المختلفة في وصلة لحام (SMAW) للفولاذ المقاوم للصدأ (316L) باستخدام قطب (E6013).قوة التكبير (250X).



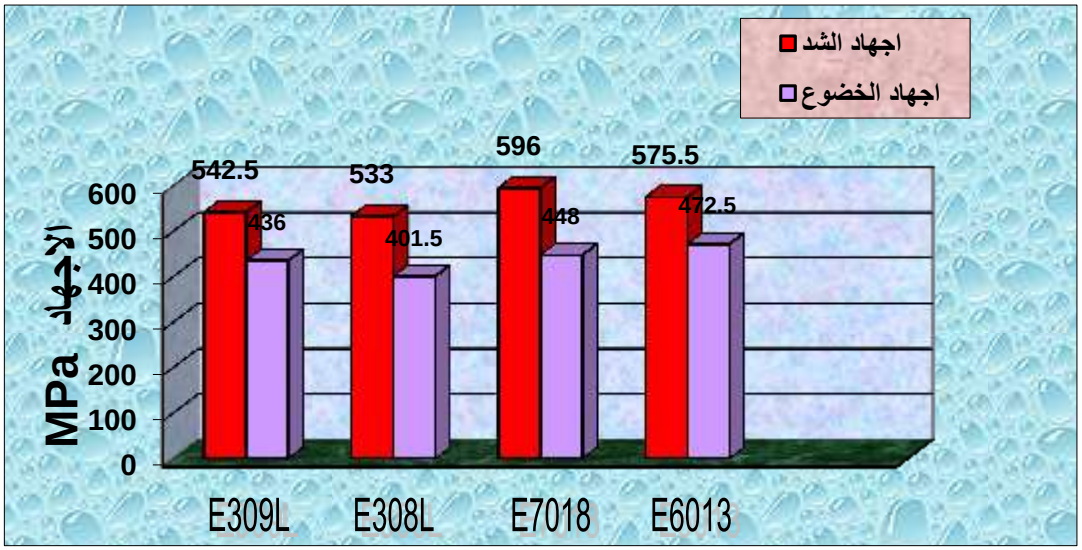
شكل (12) التركيب ألمجهري للمناطق المختلفة في وصلة لحام (SMAW) غير متشابهة (C.St+St-St) باستخدام قطب (E7018).قوة التكبير (250X).



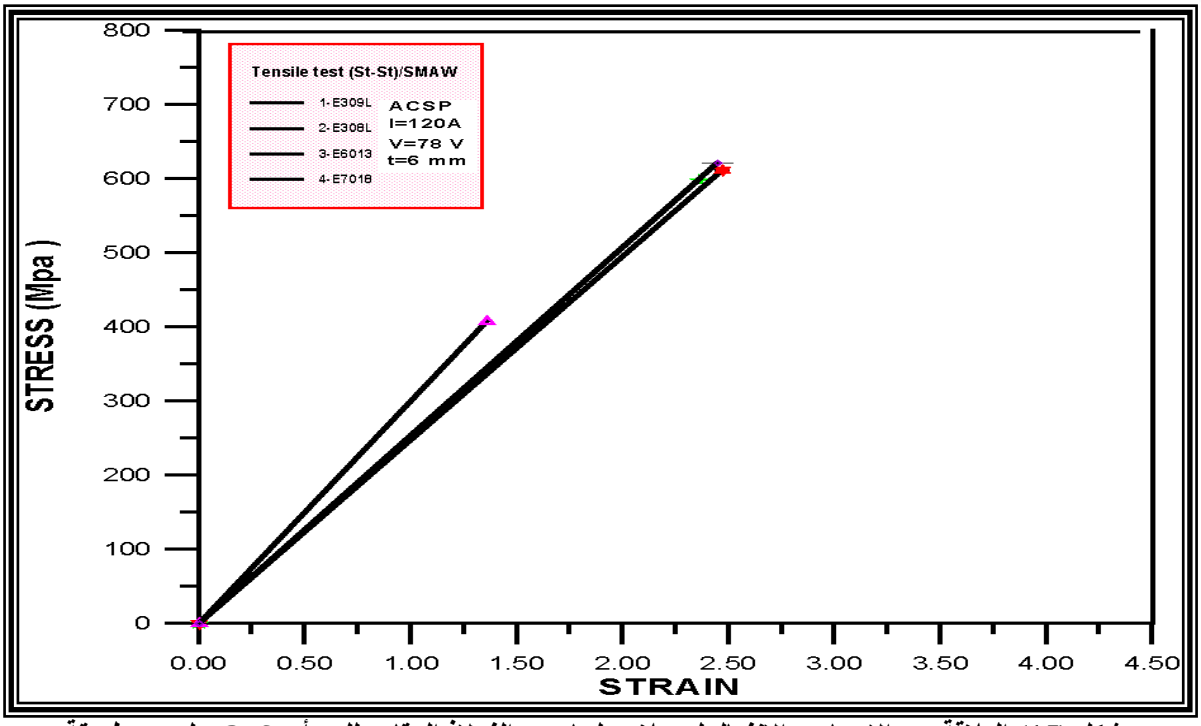
شكل (13) التركيب ألمجهري للمناطق المختلفة في وصلة لحام (SMAW) غير متشابهة (C.St+St-St) باستخدام قطب (E309L).قوة التكبير (250X).

3-5 اختبار الشد Tensile Test

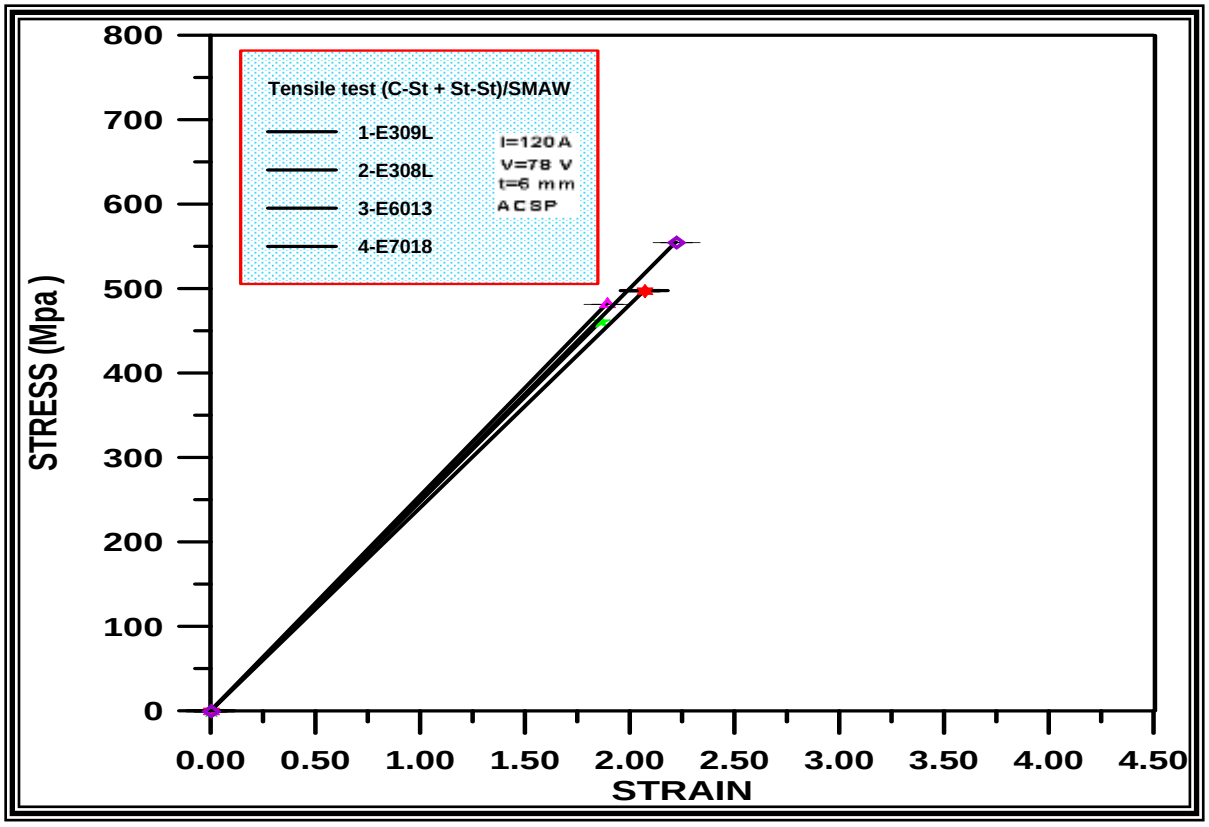
توضح الأشكال (14) نتائج اختبار الشد لوصلات لحام متشابهة من الفولاذ المقاوم للصدأ عندما تلحم بأقطاب (E309L, E308L) فنها تعطي نتائج جيدة ومتقاربة وكذلك عندما تلحم بقطب لحام فولاذي كربوني (E7018) فأنها أيضا متقاربة بمقياس معياري 5% أما عندما تلحم بقطب (E6013) وتحقق مقاومة شد مقدارها (407 MPa) ومقاومة خضوع مقدارها (273 MPa) وهي اقل حوالي32 % مقارنة مع استخدام القطب (E 309L) ويلاحظ إن الفشل يحصل في منطقة اللحام آما العينات السابقة فيحصل الفشل في المعدن الأساس والمنحني في الشكل (15) يوضح ذلك وعندما تم لحام وصلة من معادن متشابهة (فولاذ كربوني منخفض) فأن نتائج فحص الشد كانت متقاربة لجميع الأقطاب المستخدمة سواء كانت فولاذ مقاوم للصدأ (E308l &E309L) أو أقطاب لحام فولاذ كربوني (E6013 & E7018 أما وصلة اللحام الغير متشابه فأيضا كانت النتائج متقاربة مع زياد قليلة في مقاومة الشد ومقاومة الخضوع عند استخدام قطب اللحام (E7018) وفي جميع هذه الوصلات الغير متشابهة يحصل الفشل في معدن الفولاذ الكارتوني والمنحنيات في الشكل (17) توضح ذلك . وعند مقارنة وصلة اللحام الملحومة بطريقة القوس اليدوي المغلف (SMAW) مع قوس التنكستن المغلف بغاز ألا ركون الخام (GTAW) نجد أن طريقة اللحام (GTAW) أعطت نتائج أفضل لجميع الأقطاب المستخدمة وللأشكال و(29)و توضح ذلك وهذا يدلل على أن طريقة اللحام (GTAW) أفضل لأنها قليلة متضمنات الخبث وأفضل في تجانس اللحام وذات نوعية جيدة وقليلة العيوب سواء الفجوات الهوائية أو الشقوق .



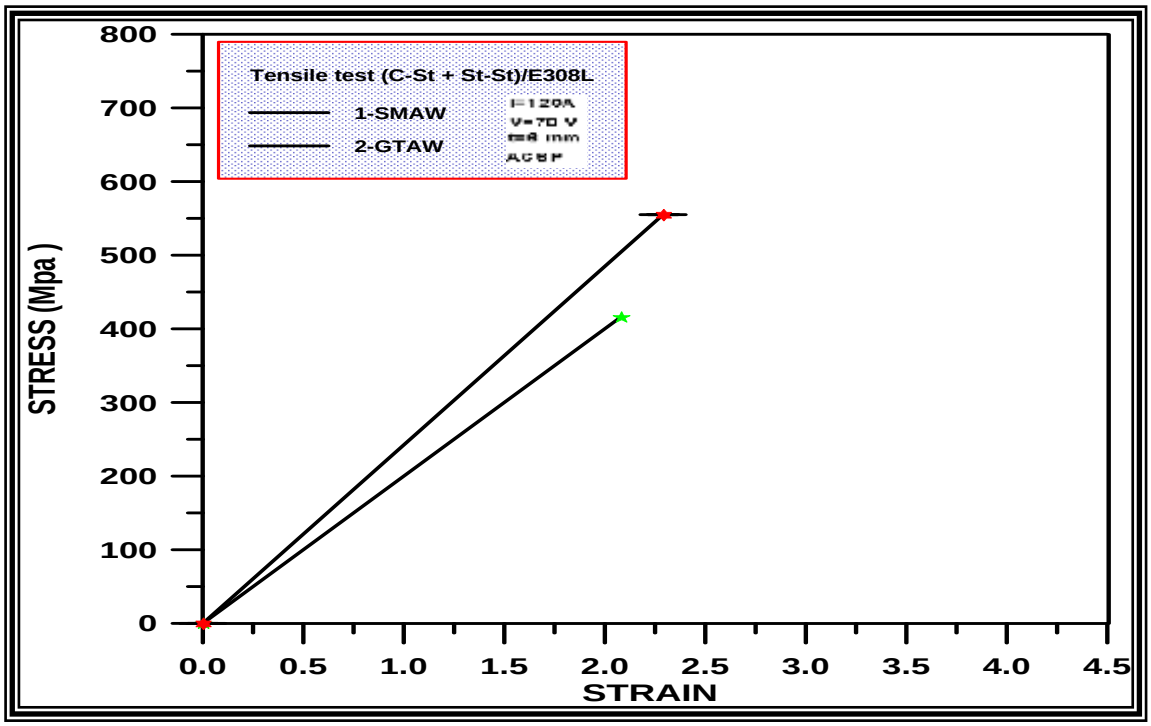
شكل(14) بيانات الشد لوصلات لحام متشابهة من C-St A516 ملحومة بطريقة SMAW باستخدام أقطاب لحام مختلفة



شكل (15) العلاقة بين الإجهاد – الانفعال لوصلات لحام من الفولاذ المقاوم للصدأ 316L ملحوم بطريقة (SMAW) باستخدام أقطاب لحام مختلفة



شكل (16) العلاقة بين الإجهاد – الانفعال لوصلات لحام غير متشابهة الفولاذ الكاربوني المنخفض A516 مع الفولاذ المقاوم للصدأ 316L ملحوم بطريقة(SMAW) باستخدام أقطاب لحام مختلفة



شكل(17) العلاقة بين الإجهاد – الانفعال لوصلات لحام غير متشابهة الفولاذ الكاربوني المنخفض A516 مع الفولاذ المقاوم للصدأ 316L ملحوم بطريقتي(GTAW)و(SMAW) باستخدام قطب لحام (E308L)

5-5 اختبار الانحناء Bending Test

تبين نتائج اختبار الانحناء الموضحة بالشكل (18) تفاصيل كاملة حول طبيعة الوصلات ومقدار قوة ألحني ، وفيما أدناه إيضاح لتأثير قطب اللحام وتأثير على الوصلة الملحومة بطريقة القوس اليدوي (SMAW) بعد أجراء اختبار الانحناء.

5-5-5 الوصلات غير المتشابهة الملحومة بطريقة (GTAW)

الجدول (5،6،7،8) يوضح النتائج لعينات لحام وصلة غير متشابهة (St-St 316L) مع (C-St A516) ملحومة بطريقة (GTAW) ، و تبين سلامة اختيار قطب اللحام نوع (ER309L) في لحام تلك الوصلة بينما فشلت الأقطاب الأخرى. أن اختيار طريقة اللحام في الوصلات الغير متشابهة فهي مهمة جدا ولا تقل أهمية عن عملية اختيار قطب اللحام ، وذلك لان عمق الانصهار ومحصلة التخفيف (Dilution) التي هي عملية خلط من المعدن الأساس المنصهر مع المعدن المترسب من قطب اللحام، تعتمد على طريقة وأسلوب اللحام والشكل (19) يوضح بيانات اختبار ألحني بطريقتي لحام (GTAW) و (SMAW) لوصلة غير متشابه باستخدام أقطاب مختلفة ، وبالإمكان استخدام أقطاب لحام بطريقة SMAW لتكوين (تخفيف) مع المعدن الأساس لمجالات مستقرة أعلى من (30%) ، ويفضل المحافظة على انتظام تخفيف بمقدار (25%) بين القطب والمعدن الأساس من خلال التحكم يدويا في قطب اللحام وكذلك مقدار قوس اللحام (معدل ترسب المعدن)[3]، وبذلك ينتظم شكل اللحام على طول الوصلة، وإذا كان مقدار التخفيف بين قطب اللحام واحد المعادن الأساسية اكبر من الآخر فهذا ناتج بسبب الاختلاف بين المكونات الثلاث للوصلة غير المتشابهة (المعدنين المراد لحاميهما وقطب اللحام) من حيث التوصيل الحراري وكذلك نقطة الانصهار ومعامل التمدد ، ولمعالجة عدم انتظام التخفيف على منفذ عملية اللحام تنظيم مسار اللحام بتركيز القوس على المعدن الذي حصل فيه تخفيف اقل من الآخر[6] .

ويمكن حساب النسبة المئوية للتخفيف (D) كالتالي :-

النسبة المئوية للتخفيف (D) = (وزن المعدن الأساس المنصهر/ الوزن الكلي للمعدن المنصهر) × 100 ....(1)

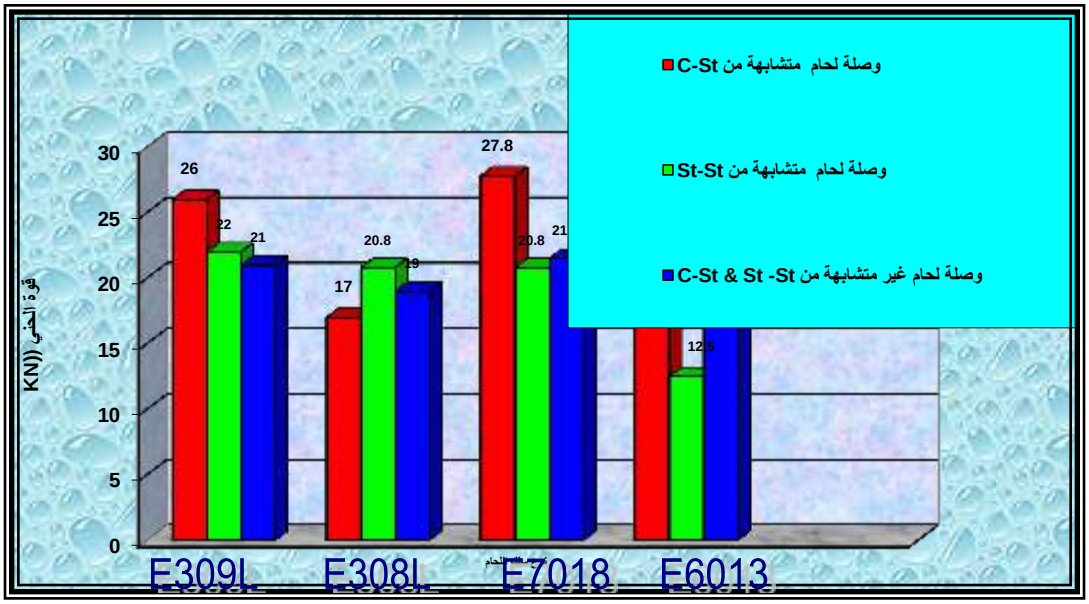
كما يمكن حساب النسبة المئوية لكل عنصر في معدن اللحام من خلال المعادلة (2)

$$X_W=(D_A)(X_A)+(D_B)(X_B)(1-D_T)(X_F) \quad \text{.....(2)}$$

حيث أن:-

X_W = معدل النسبة المئوية للعنصر X في معدن اللحام
X_A= معدل النسبة المئوية للعنصر X في المعدن الأساس A
X_B= معدل النسبة المئوية للعنصر X في المعدن الأساس B
X_F=معدل النسبة المئوية للعنصر X في قطب اللحام
D_A= نسبة التخفيف مع المعدن الأساس A (ويعبر عنها بكسر عشري)
D_B= نسبة التخفيف مع المعدن الأساس B (ويعبر عنها بكسر عشري)
D_T = نسبة التخفيف الكلية.

لذلك من خلال التحكم بنسبة العناصر في منطقة اللحام يمكن زيادة المطيلية وبالتالي لحام وصلة تتحمل مديات حني عالية. وفي كافة الجداول التي تخص بيانات ألحني تم الإشارة إلى الملحومات التي لم يظهر بها تشققات ترى بالعين المجردة (الفحص العياني) بأنها مقبولة وإذا ظهر بها شق فتم الإشارة إلى أنها فاشلة.



شكل(18) بيانات اختبار ألحني لوصلة اللحام بطريقة (SMAW) للملحومات المتشابهة وغير المتشابهة وباستخدام أقطاب مختلفة وبظروف لحام الفولتية والتيار وقطب اللحام وسمك الوصلة على التوالي (6 mm,3.2 .(mm , 120 A , 78 V

الجدول (5) بيانات اختبار ألحني لوصلات لحام من الفولاذ المقاوم للصدأ 316L ملحومة بطريقة (SMAW) بظروف لحام فولتية وتيار على التوالي (78 V,120A)

قطب اللحام	قوة ألحني (KN)	زاوية ألحني(درجة)	الفحص العياني
E309L	22	44	مقبول
E308L	20.8	44	مقبول
E7018	20.8	53	فشل
E6013	12.5	158	فشل

الجدول (6) بيانات اختبار ألحني لوصلات لحام من الفولاذ الكربوني A516 ملحومة بطريقة (SMAW) بظروف لحام فولتية وتيار على التوالي (78 V,120A)

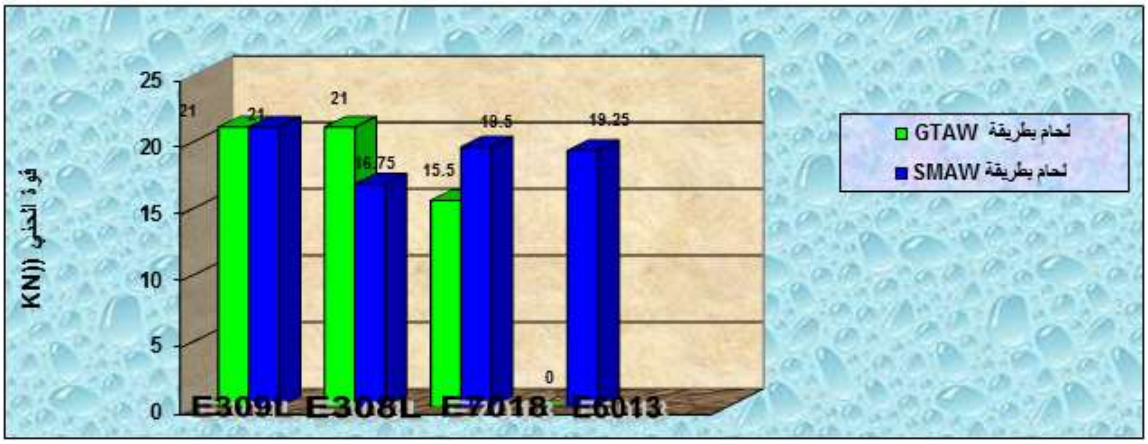
قطب اللحام	قوة ألحني (KN)	زاوية ألحني(درجة)	الفحص العياني
E309L	26	33	مقبول
E308L	17	158	فشل
E7018	27.8	40	مقبول
E6013	24	33	مقبول

الجدول (7) بيانات اختبار ألحني لوصلات لحام غير متشابهة من الفولاذ المقاوم للصدأ 316L مع الفولاذ الكربوني A516 ملحومة بطريقة (SMAW) بظروف لحام فولتية وتيار على التوالي (78 V,120A)

قطب اللحام	قوة ألحني (KN)	زاوية ألحني(درجة)	الفحص العياني
E309L	21	42	مقبول
E308L	19	125	فشل
E7018	21	75	فشل
E6013	21.5	40	فشل

الجدول (8) بيانات اختبار ألحني لوصلات لحام غير متشابهة من الفولاذ المقاوم للصدأ 316L مع الفولاذ الكارتوني A516 ملحومة بطريقة (GTAW) بظروف لحام فولتية وتيار على التوالي (78 V,120A)

قطب اللحام	قوة ألحني (KN)	زاوية ألحني(درجة)	الفحص العياني
ER309L	20	33	مقبول
ER308L	21	35	فشل
ER70-S6	15.5	35	فشل



الشكل (19) بيانات اختبار الانحناء لوصلات لحام غير متشابهة من الفولاذ المقاوم للصدأ 316L مع الفولاذ الكربوني A516 ملحومة بطريقتي (GTAW) و(SMAW) بظروف لحام فولتية وتيار على التوالي (78 V,120A) وباستخدام أقطاب لحام مختلفة

5-6 فحص الصلادة الدقيقة Micro hardness Test

تم قياس الصلادة الدقيقة لجميع الوصلات المتشابهة وغير المتشابهة أدناه تفاصيل نتائج الفحوصات.

5-6-1 نتائج من الوصلات المتشابهة الملحومة بطريقة SMAW

أظهرت نتائج الفحص بان صلادة منطقة معدن اللحام لعينات الفولاذ الكربوني المنخفض هي الأعلى مقارنة مع صلادة منطقة (HAZ) والمعدن الأساس ، وهذا ناتج طبيعي بسبب تكون البلورات الخشنة(الابرية) بعد عمليتي الانصهار والتجمد لمعدن اللحام ، ، أن أقطاب اللحام من الفولاذ المقاوم للصدأ (E309L & E308L) أعطت أعلى صلادة وعلى التوالي ، ثم تلتها أقطاب لحام من الفولاذ الكربوني المنخفض (E7018 &E6013) على التوالي بعد ذلك يحصل الانخفاض النسبي في المنطقة المتأثرة حراريا لكافة الأقطاب،وذلك بسبب تغير الحجم البلوري نتيجة الدورة الحرارية للحام باستثناء القطب(E7018) حيث ظهرت الصلادة على شكل انخفاض ثم ارتفاع نسبي وصولا إلى صلادة المعدن الأساس وهذه سبب بوادر تكون طور والمارتنسايت وهو طور صلد وهش ويؤدي إلى التشقق. أما أسباب الصلادة العالية في منطقة اللحام لأقطاب (E308L&E309L) هو أن الكروم يملك آلفه كبيرة للاتحاد مع الكربون أعلى من آلفة الاتحاد مع الحديد، مما يؤدي إلى تكوين كاربيدات الكروم جعل الكربون ينتشر من المعدن الأساس إلى معدن اللحام وعملية انتشاره تعتمد على درجة الحرارة وزمن الانصهار، وممكن السيطرة على ذلك من خلال عملية التسخين ما بعد اللحام .[2]

5-6-2 نتائج العينات من الوصلات غير المتشابهة الملحومة بطريق SMAW

أن الوصلات غير المتشابهة من (C-St مع St-St) قد أظهرت مخططا يختلف عن الحالتين السابقتين ولكن يوجد تشابه من حيث أن منطقة معدن اللحام أعلى صلادة من المعدن الأساس ومن الجانبين سواء كان جانب (Mild St A516) أو جانب (St .St 316L) ، أن الصلادة تكون ثابتة في المعدن الأساس ثم تبدأ بالصعود باتجاه منطقة (HAZ) لتصل إلى أعلى قيمة صلادة في عموم القطعة ثم تبدأ بالهبوط أيضا ضمن منطقة اللحام و لحين الوصول ألي منتصف اللحام حيث تستقر الصلادة وتكون أعلى من المعدن الأساس ، وتسلك الوصلة نفس السلوك من جهة المعدن الأخر(الفولاذ المقاوم للصدأ) . والبيانات التي تم الحصول عليها في هذه الوصلة الغير متشابهة هي قيمتين (قيم عليا) للصلادة في منطقتي (HAZ) والواضح أن أقطاب الفولاذ الكربوني المنخفض (E7018 , E6013) شكلت قمة في منطقة (HAZ) من جانب الفولاذ المقاوم للصدأ أعلى من التي تشكلت في (HAZ) من جانب الفولاذ الكربوني المنخفض أما أقطاب لحام الفولاذ المقاوم للصدأ (E309L,E308L) فكانت أعلى قمة صلادة في منطقة (HAZ) من جانب الفولاذ الكربوني المنخفض ، وهذه النتائج أكدت النتائج في الفقرة السابقة عند لحام الوصلات المتشابهة بأقطاب غير متشابهة .

5-6-3 نتائج العينات من الوصلات غير المتشابهة الملحومة بطريقة GTAW

وباستخدام أقطاب مختلفة ويلاحظ تباين الصلادة عند مناطق اللحام المختلفة ويعزى السبب في ذلك ان الدورات الحرارية تكون بطريقة (SMAW) أعلى من المتولدة بطريقة (GTAW) وبالتالي يؤثر على التركيب البلوري وحجم الحبيبات المتكونة ، وعموما فان قطب اللحام (ER70-S6) المكافئ للقطب (E7018) أعطى منحني للصلادة تظهر به قيمتين للصلادة في (HAZ) من كلا الجانبين وتكون القيمة الأعلى في (HAZ) من جانب الفولاذ المقاوم للصدأ. أما أقطاب اللحام من الفولاذ المقاوم للصدأ فقد أعطت صلادة متشابهة من حيث شكل المنحنيين وتكون أعلى قيمه في منطقة معدن اللحام ، وتكون منطقة (HAZ) للفولاذ المقاوم للصدأ غير مستقرة مقارنه مع (HAZ) من جانب الفولاذ الكربوني المنخفض

6- الاستنتاجات Conclusions:-

1. الملحومات المتشابهة من الفولاذ واطئ الكربون A516، أظهرت مواصفات عالية عند لحامها بأقطاب فولاذ كربوني نوع (7018 ثم E6013) وكذلك عند لحامها بأقطاب فولاذ مقاوم للصدأ نوع (E30GL ثم E308L) على التوالي ولكن بفارق ضئيل .الملحومات المتشابهة من الفولاذ المقاوم للصدأ (316L) أظهرت مواصفات عالية عند لحمها بأقطاب لحام نوع (6E308LFE7018) ومواصفات واطئة عند لحامها بأقطاب (E6013) .

2. الملحومات غير المتشابهة (C.STA516+ST.ST316L) أظهرت مواصفات متقاربة لجميع الأقطاب المستخدمة في اللحام وكانت الوصلات الملحومة بأقطاب فولاذ مقاوم للصدأ (E308L و E309L) على التوالي .وأظهرت أفلام الأشعة السينية لمنطقة اللحام إمكانية تحقيق نفاذية كاملة ووصلة بدون عيوب لحام لكافة الملحومات سواء كانت متشابهة أو غير متشابهة من الفولاذ المقاوم للصدأ 316Lوالفولاذ الطري A516 عند لحامها بأقطاب (E308L & E309L & E7018 & E6013) ولمهارة العامل في اللحام دور كبير في ذلك .

3. بينت اختبارات الانحناء أن الملحومات المتشابهة من الفولاذ منخفض الكربون A516 يجب أن تلحم بأقطاب لحام فولاذ كربوني (E6013 & E7018) والقطب E7013هو الأفضل في تخفيض المواصفات الميكانيكية لوصلة اللحام . وبينت أن الملحومات المتشابهة من الفولاذ المقاوم للصدأ (E316)، يجب إن تلحم بأقطاب فولاذ مقاوم للصدأ(E308L & E309L) ، والقطب (E308L) هو الأفضل في تحقيق مواصفات ميكانيكية عالية . الملحومات الغير متشابهة (ST.ST316L + A516) يجب إن تلحم بأقطاب فولاذ مقاوم للصدأ اوستنايتي (E309L) حيث وضحت ذلك اختبارات ألحني .

4. الكسر في الوصلات غير المتشابهة حدث في منطقة الفولاذ الكربون المنخفض (الفولاذ الأقل مقاومة شد) . الكسر في الملحومات المتشابهة من الفولاذ المقاوم للصدأ حدث في منطقة اللحام عند لحامها بقطب فولاذ كربوني (E6013) وهذا تأكيد بقلة مقاومة الشد للقطب مقارنة مع المعدن الأساس .

5. أثبتت فحوصات الصلادة الدقيقة أن الوصلات المتشابهة من الفولاذ المقاوم للصدأ (316L) فولاذ كربوني منخفض نوع (E6013 & E7018) تكون عالية في منطقة اللحام وتكون أعلى في حالة استخدام أقطاب لحام فولاذ مقاوم للصدأ (E308L & E309L) .وأثبتت فحوصات الصلادة إن الوصلات المتشابهة من الفولاذ واطئ الكربون (A516) تكون عالية عند استخدام أقطاب لحام فولاذ مقاوم للصدأ (E309L & E308L) مقارنة مع استخدام أقطاب لحام فولاذ كربوني (E6013 & E7018) .الملحومات غير المتشابهة (فولاذ مقاوم للصدأ 316Lمع فولاذ واطئ الكربون A516) بينت أعلى صلادة في المنطقة المتأثرة بالحرارة (H A Z) أي قيمتي صلادة .

6. أثبتت بيانات اختبار الشد وبيانات اختبار الانحناء إن طريقة اللحام GTAW أفضل من طريقة لحام S M A Wفي لحام الوصلات الغير متشابهة .

7- المصادر

[1] Stainless steel branch of Chinese special steel enterprise association, "Practical Handbook of Stainless steel ", publishing house of Chinese Science and Technology, 2003.

[2] ESAB , Stainless steel welding " Technical Handbook " 2010.

[3] ASME, (Bailer and Pressure Vessel code) .the American Society of mechanical Engineers, 2010.

[4] American Society for Metal, "ASM Metals Handbook", Vol.21 Copyright 2012.

[5] ASM Metals Handbook "Metallographic And Microstructures ".Volume 09, 2004

[6] W.H. Kearns, (Metal and Their Weld ability) , welding Handbook , 7th , vol. 4 .

Appendix (A)

List of symbols

Symbol	Description
GTAW	Gas tungsten are welding
SMAW	Shielded metal are welding
316L	الفولاذ المقاوم للصدأ
A516	الفولاذ المنخفض الكاربون
E309L, E308L	اقطاب فولاذ مقاوم للصدأ
E 6013, E 7018	وهما أقطاب فولاذ منخفض الكاربون
HAZ	المنطقة المتأثرة بالحرارة
ASTM-E8	المواصفات القياسية