

## تقييم بعض المواصفات الميكانيكية لوصلات لحام الفولاذ مقاوم الصدأ الاستناتي (316L)

سامي علي ناوي	د. قاسم عبد الحسن خلف	د. منى خضير عباس
مدرس مساعد	مدرس	أستاذ
كلية الهندسة - جامعة ديالى	قسم هندسة الإنتاج والمعادن - الجامعة التكنولوجية	قسم هندسة الإنتاج والمعادن - الجامعة التكنولوجية

(الاستلام:- ٢٠٠٩/٣/١ ، القبول:- ٢٠٠٩/١٢/١٦)

### الخلاصة

تتأول هذا البحث إنتاج وصلات لحام من الفولاذ مقاوم الصدأ الاستناتي (316L) بطريقة لحام القوس الكهربائي المعدني المغلف بالصهيرة ( SMAW ) باستعمال أربعة أنواع من أقطاب اللحام هي ( E7018 ، E6013 ، E309L ، E308L ) مع ثبات متغيرات اللحام الأخرى إذ كان سمك الصفيحة ( 6mm ) و تيار اللحام ( 120A ) والفولتية ( 78V ) والقطبية العكسية ( DCRP ) وقطر القطب ( 3.25 ) ملم . وتم إجراء فحوصات مختلفة شملت الفحص العياني والتصوير بالأشعة السينية وفحص طور دلتا - فيرايت وفحص البنية المجهرية . وكذلك تم إجراء الاختبارات الميكانيكية ومنها اختبار الشد ، اختبار ألحني واختبار الصلادة الدقيقة. أظهرت النتائج أن القطبان ( E309L ، E308L ) كانا ملائمين في لحام الوصلات من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) . وبينت نتائج الشد بتقارب النتائج للمعلومات ولكافة الأقطاب المستعملة باستثناء المعلومات باستعمال قطب اللحام ( E6013 ) حيث كانت تتعد بانحراف معياري 30% . وفي معظم المعلومات ظهرت صلادة منطقة اللحام أعلى من صلادة المنطقة المتأثرة بالحرارة (HAZ) والمعدن الاساس . وأوضحت نتائج الفحص لطور دلتا - فيرايت في المعلومات أن قيمة دلتا - فيرايت تتراوح من ( 3.5 - 4.5 ) % عند

استعمال أقطاب لحام E309L ، E308L على التوالي وهي ضمن الحدود المسموح بها في الوصلات الملحومة من الفولاذ مقاوم الصدأ الاوستنايتي.

## ١ - المقدمة

تتعرض العديد من المواد الهندسية التي تستعمل في التطبيقات إلى اجهادات ميكانيكية مختلفة و كذلك تتطلب الظروف استعمال معادن مختلفة حسب طبيعة العمل المناط بالعدة أو الجهاز وأحيانا كثيرة تفرض عملية توفر الخامات و العامل الاقتصادي اختيار محدد<sup>(١)</sup>.

ويمكن تصنيع المنتجات الهندسية من قطعة واحدة كما في عمليات السباكة و الحدادة و الدرفلة و البثق ، إلا أن هنالك بعض المنتجات لا يمكن تصنيعها من قطعة واحدة كالهياكل الكبيرة ومعظم الأجزاء المعقدة يجب تصنيعها من عدة قطع صغيرة تربط مع بعضها البعض بالبرشمة أو باللولاب أو بواسطة اللحام<sup>(٢)</sup>. وقد أجريت بهذا الخصوص بحوث و دراسات عديدة منها دراسة الباحثين (J.Honey Compy &T.G.Gooch) (1980)<sup>(٣)</sup> حيث درس الباحثان متغيرات اللحام والشقوق الصغيرة في سبيكة الفولاذ مقاوم الصدأ الاوستنايتي بطريقتي (GTAW) , (SMAW) و توصلا إلى أن التيار يملك تأثيرا كبيرا في تكوين الشقوق الصغيرة, بينما يكون تأثير سرعة اللحام قليلا ولا يوجد تأثير لنوع القوس الكهربائي يمكن وصفه . وفي عام [4] 2000 أجريت دراسة بعنوان السيطرة على عيوب وتشوهات الفولاذ الكربوني باستعمال أقطاب لحام E7018, E7013 في لحام الفولاذ متوسط الكربون. وقد توصل الباحث إلى أن التسخين الأولي له تأثير كبير وملحوظ في زيادة مقاومة الشد والصدمة لمحمومات الفولاذ متوسط الكربون وعالي الكربون وفي إعاقة حدوث التشققات فيها.

وأكدت العديد من الدراسات والبحوث[7.6.5] ان وجود نسبة قليلة من طور دلتا - فيرايت في البنية المجهرية لمنطقة اللحام عند درجة الغرفة يكون ضروريا للتقليل من احتمالية ظهور التشققات المجهرية في منطقة اللحام وان كمية الفيرايت المتبقية تعتمد على معدل التبريد.

وقد قام الباحث Nadimi S. وآخرون في عام (2008)[8] بدراسة تحليل الاجهادات المتبقية في أنابيب ملحومة من معدنين مختلفين ( هما الفولاذ مقاوم للصدأ الأوستنايتي والفولاذ الكربوني) بطريقة لحام القوس الكهربائي المعدني اليدوي. وقد استخدم الباحث مخطط شجفلر في تحديد معدن الحشو المناسب وكذلك طريقة العناصر المحددة في

## تقييم بعض المواصفات الميكانيكية لوصلات لحام الفولاذ مقاوم الصدأ الاوستنايتي (316L)

محاكاة الأنتقال الحراري والأجهادات الحرارية المتبقية في السطوح الخارجية والداخلية للأسطوانة الملحومة. وقد توصلوا إلى أن أختلاف الخواص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية للمعدن الأساس أدى إلى توزيع غير متجانس لدرجات الحرارة و الأنتقال الحراري في وصلة اللحام.

يهدف البحث الحالي إلى دراسة تأثير الأقطاب مختلفة الأنواع بعضها من الفولاذ مقاوم الصدأ الاوستنايتي والبعض الأخر أقطاب من الفولاذ منخفض الكربون . و كذلك تقييم خواص هذه الوصلات الملحومة عن طريق تحديد الخواص الميكانيكية والميتالورجية لوصلات اللحام.

## 2- الإجراءات العملية

### 1-1- المواد المستعملة

تم استعمال الفولاذ مقاوم الصدأ نوع (AISI316L) وذلك لاستعمالاته الصناعية الواسعة في الصناعات الكيميائية والبتروكيميائية والصناعات الغذائية وفي محركات الطائرات وغيرها<sup>(4)</sup>.

وأجريت عملية فحص التركيب الكيميائي له باستعمال جهاز التحليل الطيفي spectrometer نوع (ARL) . والنتائج موضحة في الجدول (1) والذي يتضمن النسب وفقاً للمواصفة القياسية (DIN) .

### جدول (1):- التركيب الكيميائي للفولاذ مقاوم الصدأ (316L)

Fe	P	S	Mo	Ni	Cr	Si	Mn	C	Element wt%
Rem	_	0.009	2.79	10.94	16.6	0.5	1.65	0.03	Actual value
Rem	0.04Max	0.03	2-3	10-14	16-18	1.0 Max	2.0 Max.	0.03	Standard value

## 2-2- تحضير الصفائح و تهيئتها لعملية اللحام

### المسلك التقني لتحضير العينات

1. تم تقطيع الصفائح من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) إلى قطع بأبعاد (150x300) ملم ثم أجريت عليها عمليات التنظيف لأزالة الاتربة والدهون من القطع.

## تقييم بعض المواصفات الميكانيكية لوصلات لحام الفولاذ مقاوم الصدأ الاوستنايتي (316L)

٢. تمت تهيئة حافات اللحام للقطع بعمليات التشغيل الميكانيكي على ماكينة التفريز حيث تم إجراء عملية الشطف بزوايا 30 درجة وعلى طول الضلع (300) ملم ووضعت القطع بشكل ملائم لتكون حافة تناكبية مشطوفة من جهة واحدة (single-V) وكما موضح في الشكل (1).

### 2-3 عمليات اللحام

تم اختيار قطع متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) (المعدن الأول والثاني) بسمك (6) ملم وتم اللحام بطريقة القوس الكهربائي المعدني المغلف بالصهيرة لحام يدوي باستعمال أقطاب لحام مختلفة الأنواع (أربعة أقطاب) هي E308L, E309L (وهما أقطاب فولاذ مقاوم الصدأ) و E7018, E6013 (وهما أقطاب فولاذ منخفض الكربون) وبذلك تم الحصول على أربعة ملحومات مع ثبات متغيرات اللحام الأخرى وهي التيار مقداره (120) أمبير و الفولتية (78) فولت وبقطبية (DCRP)، وقطر القطب (3.25) ملم مع استعمال تمريرة (Two passes) في اللحام. تم اللحام باستعمال ماكينة لحام تركية الصنع نوع (Nuris RCT). ولغرض معرفة التركيب الكيماوي للأقطاب المستعملة في اللحام فأن الجدول (2) يوضح ذلك. أما الشكل (2) يوضح صورة فوتوغرافية لعينة ملحومة من الفولاذ مقاوم الصدأ.

جدول (٢): التركيب الكيماوي لأقطاب لحام الفولاذ مقاوم الصدأ وفولاذ منخفض الكربون

Fe	Cu	N	S	P	Si	Mn	Mo	Ni	Cr	C	Elec. Type
Rem	0.75	0.75	0.03	0.04	0.9	0.5-2.5	0.75	9-11	18-21	0.04	E308L
Rem	0.75	0.75	0.03	0.04	0.9	0.5-2.5	0.75	12-14	22-25	0.04	E309L
Rem	-	-	0.015	0.02	0.24	0.39	-	-	-	0.08	E6013
Rem	-	-	0.14	0.015	0.4	1.1	0.053	0.0355	0.018	0.045	E7018

### 2-4 الفحص الشعاعي بالأشعة السينية

تم إجراء عمليات الفحص بالأشعة السينية ولكافة القطع الملحومة وذلك لغرض الكشف عن عيوب اللحام وتحديد مدى نجاح نفاذية اللحام وتم ذلك على جهاز الأشعة السينية مصنع في ألمانيا نوع ( Rich Seifertand CO ) ( Ahrensburg ) .

#### 2-5- أختبار الشد

بعد أن تم إجراء عمليات اللحام وعمليات الفحص بالأشعة السينية لكافة القطع الملحومة تمت عمليات تحضير العينات الملحومة وذلك بتشغيلها على مكائن التفرير العمودي. وتم تشغيل عينات فحص الشد وفق المواصفة القياسية ( ASTM – E8M ) وكما مبين في الشكل ( 3 ) . واجري اختبار الشد على جهاز نوع RX – SRG500 حملته 600 كيلو نيوتن والتابع إلى الشركة العامة للمعدات الثقيلة.

#### 2-6- اختبار الحني

تم على ماكينة التفرير العمودي تشغيل عينات الحني وفق المواصفة القياسية ( ASTM – E190 ) وكما موضح في الشكل ( 4 ) . واجري اختبار الحني على نفس الجهاز المستعمل في اختبار الشد.

#### 2-7- فحص الصلادة الدقيقة

أجري فحص الصلادة الدقيقة عبر المقطع العرضي للقطع الملحومة لغرض قياس الصلادة الدقيقة في ثلاث مناطق هي منطقة اللحام ( WM ) المنطقة المتأثرة بالحرارة ( HAZ ) والمعدن الأساس ( BM ) . وتم قياس الصلادة المجهرية بطريقة فيكرز باستعمال جهاز نوع ( Letz Wetz Germany 8397 ) باستعمال حمل مقداره ( 500 ) غم لمدة ( 30 ) ثانية. وتم التركيز على مسح عينات اللحام لأخذ قراءات دقيقة لكامل وصلة اللحام ابتداء من معدن اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة ثم المعدن الأساس وعلى جانبي اللحام لكل من الملحومات الأربعة وبمسافة مقدارها ( 1 ) ملم بين قراءة وأخرى.

#### 2-8- فحص التركيب المجهرى

## تقييم بعض المواصفات الميكانيكية لوصلات لحام الفولاذ مقاوم الصدأ الاوستنايتي (316L)

تم تحضير العينات لإظهار التركيب المجهرى للمحومات المستعملة في البحث وفقا الخطوات الآتية:-

١. التتعيم الرطب بالماء باستعمال ورق SIC بدرجات نعومة مختلفة بدأ من 220, 320, 500, 800, 1000, وانتهاءا 1200 على التوالي.

٢. عملية الصقل باستعمال محلول الالومينا (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) حجم حبيباته 5 مايكرون مع قماش صقل خاص به.

٣. عملية الإظهار باستعمال محلول الإظهار الذي يتكون من المواد المبينة أدناه لغرض إظهار التركيب المجهرى للفولاذ مقاوم للصدأ الاوستنايتي (316L).

محلول الإظهار يتكون من:-

٩ ملي لتر حامض النتريك HNO<sub>3</sub>

2 ملي لتر حامض الخليك

1 ملي لتر كليسرين

وتم تغطيس القطع من الفولاذ مقاوم الصدأ في المحلول مدة تتراوح (40-45) ثانية وبعد ذلك تم غسل العينات بالماء والكحول ثم جففت بمجفف.

### 2-9- فحص طور دلتا - فيرايت

تم قياس قيمة طور دلتا - فيرايت (Ferrite No.) لمنطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة باستعمال جهاز (1.053) Ferrite content Meter متقل مزود بمجس قطر كرة التماس (1.5) ملم لغرض قياس قيمة طور دلتا - فيرايت ونمط توزيعها في منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة. اذ يمكن تعريف قيمة الدلتا - فيرايت المقاسة بقوة التجاذب الحاصلة بين المجس المغناطيسي والمنطقة المفحوصة.

### 3- النتائج والمناقشة

#### 3-1- نتائج الفحص بالأشعة السينية

أظهرت نتائج التصوير الشعاعي بالأشعة السينية ان المعلومات من الفولاذ مقاوم الصدأ (316 L) عند لحامها بأقطاب E7018 و E6013 كانت مقبولة ولم تظهر أي عيوب في خط اللحام ، وكذلك الحال بالنسبة للاقطاب E309L

و E308L فقد أثبتت قبولاً أيضاً وبدرجة اقل بالنسبة للقطب E309L ولكن استبعدت منطقة الفشل في اختبار عينات الشد والحني اللاحقة.

### 3-2- فحص البنية المجهرية

أوضحت فحوصات البنية المجهرية ان منطقة اللحام في الفولاذ مقاوم الصدأ يعتمد على معدل التسخين والتبريد أثناء الدورة الحرارية للحام] مما تؤدي إلى حدوث تغيرات مجهرية في المنطقة المتأثرة بالحرارة ومنطقة اللحام. اذ تكون البنية شجيرية وتكون حجم الحبيبات طولية وكبيرة بسبب انصهارها وانجمادها وتليها المنطقة المتأثرة بالحرارة تكون بلوراتها صغيرة ثم يأتي بعد ذلك المعدن الأساس التي تكون بلوراتها ضمن الحجم الطبيعي حيث لا تتغير مع عملية اللحام . والأشكال (5),(6),(7)، توضح صور التركيب المجهرية لملحومات من الفولاذ مقاوم الصدأ (316 L) ملحوم بأقطاب لحام نوع E308L, E309L, E6013, E7018 على التوالي . وتتكون منطقة اللحام من طور دلتا- فيرايت واوستنايت في حالة استعمال القطبين من الفولاذ مقاوم الصدأ (E308L, E309L). أما في حالة استعمال القطبين من فولاذ منخفض الكربون (E6013, E7018) فان منطقة اللحام تتكون من طور الفيرايت مع قليل من طورالبيانايت و المارتنزيت.وان المارتنزيت عبارة عن طور صلد وهش مما يؤدي إلى زيادة الصلادة وبالتالي حدوث التشقق<sup>(١٢)</sup>.

### 3-3- نتائج اختبار الشد

يوضح الشكل (٨) نتائج اختبار الشد لوصلات لحام من فولاذ مقاوم الصدأ (316L) ملحوم بطريقة (SMAW) باستعمال أقطاب لحام مختلفة E6013, E308, E7018, E309L . وكانت النتائج جيدة ومتقاربة. أما عند اللحام بقطب E6013 فإنها حققت مقاومة شد ( 407MPa ) ومقاومة خضوع مقدارها (274MPa) وهي اقل بحوالي 32% مقارنة مع استعمال القطب E309L. ويلاحظ ان الفشل اي الكسر حصل في منطقة اللحام . اما العينات الملحومة بالأقطاب الثلاثة السابقة فقد حصل الفشل في المعدن الأساس. وان نتائج قيم الشد كانت متقاربة للأقطاب الثلاثة (E309L, E308L, E7018) لكل من الفولاذ منخفض الكربون والفولاذ مقاوم الصدأ على التعاقب مع زيادة قليلة في مقاومة الشد ومقاومة الخضوع عند استعمال قطب اللحام (E7018) وكما موضح في الشكل (٩).

### 3-4- نتائج اختبار الحني

### تقييم بعض المواصفات الميكانيكية لوصلات لحام الفولاذ مقاوم الصدأ الاوستنايتي (316L)

تبين نتائج الحني الموضحة في الجدول (3) تفاصيل كاملة حول طبيعة الوصلات ومقدار قوة الحني لوصلات

اللحام الملحومة بطريقة القوس الكهربائي اليدوي من الفولاذ المقاوم الصدأ (316L).

**جدول(3):-** بيانات اختبار الحني لوصلات لحام من فولاذ مقاوم الصدأ

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

أوضحت النتائج ان القطب (E6013) لا يصلح في لحام العينات المتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) لأن

الوصلة فشلت عند قوة حني واطئة ( 12.5 KN )، ويلاحظ ان الوصلة فشلت عند قوة حني (20.8 KN) وحققت زاوية

حني (53) درجة عند استعمال القطب E7018. وكذلك نجد ان القطب E308L كان مقبولاً في لحام العينات المتشابهة

من الفولاذ مقاوم الصدأ حيث أمكن تحقيق زاوية حني (44) درجة بقوة حني (20.8 KN) ولم يظهر أي تشقق في

الوصلة.

### 3-5 نتائج الصلادة الدقيقة

يلاحظ من الشكل (10) الذي يوضح العلاقة بين الصلادة الدقيقة مع المسافة عن مركز اللحام لكافة أقطاب اللحام

المستعملة ان أقطاب اللحام من الفولاذ مقاوم الصدأ (E309L,E308L) أعطت أعلى صلادة على التوالي ثم تلتها أقطاب

لحام من الفولاذ منخفض الكربون (E6013 ,E7018) على التوالي . بعد ذلك يحصل الانخفاض النسبي في منطقة

(HAZ) ثم المعدن الأساس.

ويعود السبب في ذلك إلى تغير الحجم البلوري وظهور طور المارتنزيت وهو طور صلد وهش , نتيجة الدورة

الحرارية للحام باستثناء القطب E7018 حيث ظهرت الصلادة على شكل انخفاض نسبي ثم ارتفاع نسبي وصولاً الى

صلادة المعدن الأساس. أما أسباب الصلادة العالية في منطقة اللحام عند استعمال أقطاب اللحام (E308L,E309L)

ترجع الى ان الكروم يملك ألفة كبيرة للاتحاد مع الكربون أعلى من ألفة الاتحاد مع الحديد مما يؤدي إلى تكوين كاربيدات

الكروم (Cr23C6) الصلدة في منطقة اللحام وذلك نتيجة انتشار الكربون من المعدن الأساس إلى معدن اللحام. وهذا



الانتشار يعتمد على درجة الحرارة وزمن الانصهار ويمكن السيطرة على ذلك من خلال عملية التسخين ما بعد اللحام (١٢،١٣)

### 3-6- نتائج فحص دلتا - فيرايت

لقد تم قياس قيمة طور الدلتا - فيرايت لمنطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة (HAZ) لوصلات لحام الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) باستخدام جهاز فحص المغناطيسية . وظهرت النتائج على وفق المنحنيات في الشكل (١1) اذ كانت أعلى قيمة لطور دلتا- فيرايت في مركز اللحام وبمقدار % 3.5 و % 4.5 عند استعمال القطبين E309L,E308L على التوالي ثم يبدأ بالانخفاض مروراً بمنطقة (HAZ) حيث تستقر بنسبة %0.5 في المعدن الأساس. وتعزى هذه النتائج إلى الحرارة العالية للقوس الكهربائي تتولد عند المركز ثم يقل تأثير الحرارة كلما ابتعد عن مركز اللحام باتجاه المعدن الأساس.

أما عند اللحام بقطب (E7018) و (E6013) فقد لوحظ ان قيمة الدلتا - فيرايت تبدأ في الصعود في المعدن الأساس (نسبة %0.7) وتصل إلى قيم بحدود %10 كحد أقصى في منطقة HAZ ثم تصل الى قيمتها العالية في منطقة اللحام (أعلى من %50) وهو مدى مؤشر الجهاز المستعمل للفحص . وكانت قيم طور دلتا- فيرايت تتراوح من (3-10) % بالنسبة لمعلومات الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) وبأقطاب لحام من الفولاذ مقاوم الصدأ (309L,308L). وهي ضمن الحدود المسموح بها وهي نسبة مرغوب فيها وضرورية للتقليل من احتمالية ظهور التشققات المجهرية في منطقة اللحام وان كمية الفيرايت المتبقية تعتمد على معدل التبريد . وهذه النتائج تتفق مع نتائج الباحثين [16,15,14] .

### 3-7- الاستنتاجات

١. أثبتت الأقطاب الأربعة E309L, E308L, E6013, E7018 نجاحها في لحام الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) (

بطريقة (SMAW) إذ أعطت ملحومات مقبولة من حيث المواصفات الميكانيكية.

٢. أوضحت نتائج اختبار الشد ان الكسر في الوصلات حدث في المعدن الأساس ولجميع الأقطاب المستعملة ما عدا

القطب E6013 فقد حصل الفشل في منطقة اللحام.

٣. بينت اختبارات الحني ان الملحومات من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) يجب ان تلحم بأقطاب فولاذ مقاوم الصدأ E308L,E309L وان القطب E309L هو الأفضل في تحقيق مواصفات ميكانيكية عالية.
٤. ان أقطاب اللحام من الفولاذ مقاوم الصدأ (E308L,E309L) أعطت أعلى صلادة في منطقة اللحام على التوالي ثم تلتها أقطاب لحام من فولاذ منخفض الكربون (E6013,E7018L) على التوالي بعد ذلك يحصل الانخفاض النسبي في الصلادة في منطقة (HAZ) وصولاً إلى المعدن الأساس.
٥. وصلت قيم طور الدلتا - فيرايت في الفولاذ مقاوم الصدأ إلى مقدار 3.5% و 4.5% في الملحومات عند استعمال أقطاب لحام E308L, E309L على التوالي , بينما كانت قيمها عالية أعلى من 50% عند استعمال أقطاب لحام E6013 ,E7018L.

#### المصادر

1. W. Bolten , "Engineering Materials Technology", Butterworth's Inc, 1998.
2. American Society for Metal, "Metals Handbook" ,Vol. 6,9<sup>th</sup> edition,1983.
3. J.Honeycomby and T.G. Gooch, "Welding Variables and Micro Fissuring in Austenitic Stainless Steel Weld Metal" ,Welding Journal , Vol. 5 ,No. 8 , 1980.
٤. عبد السميع جاسم " السيطرة على عيوب وتشوهات لحام الصلب الكربوني " رسالة ماجستير ، قسم هندسة المواد ، جامعة بابل ، 2000.
٥. رأفت عبد الرحمن " دراسة تجريبية في لحام القوس الكهربائي النقطي بقطب التنكستن المحمي بالغاز الخامل (TIG spot) للفولاذ مقاوم الصدأ نوع 304L " رسالة ماجستير ، قسم هندسة الانتاج والمعادن ، الجامعة التكنولوجية ، 2001.
6. J.M.Vitck and S.A.David , "The Effect of Cooling Rate on Ferrite in Type 308 Stainless Steel Weld Metal , Welding Journal , No. 3 ,Vol. 67, 1988 , PP955-101S.
7. J.M . Vitck and S.A. David , " Improved Models for Predicating Ferrite Content in Stainless Steel " , USA,2003.
8. S. Nadimi ,R.J. Khoushemehr , B. Rohani and A. Mostafapour, "Investigation and Analysis of Weld Induced Residual Stresses in Two Dissimilar Pipes by Finite Element Modeling", Journal of Applied Sciences ,Vol.8, No.6,2008 ,PP.1014-1020.

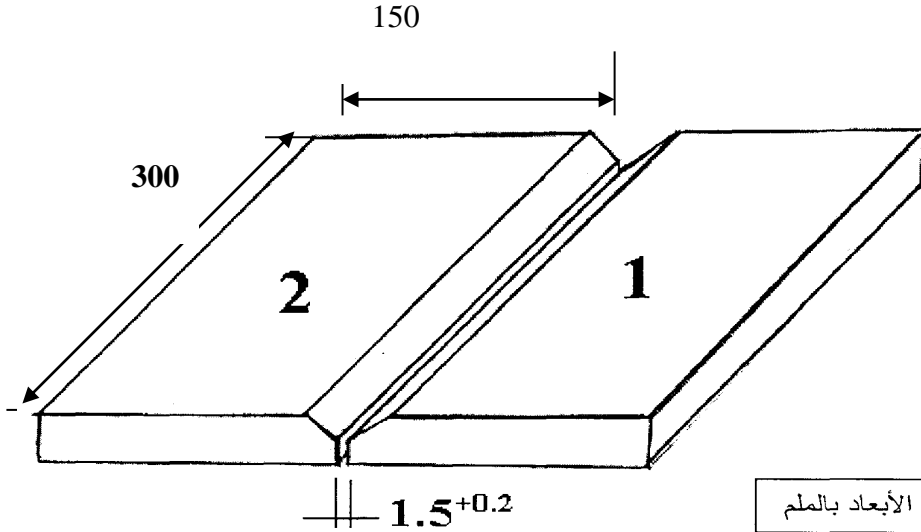
9. American Iron and Steel Institute , Welding of Stainless Steel and Other Joining Method," Handbook Series ,2005.
10. K.G.Richards ,Weldability of Steel , Cambridge University Press ,1979.
11. Sindo Kou ," Welding Metallurgy " , 2<sup>nd</sup> Edition ,Wiley Interscience ,John Wiley& Sons , Publication , 2003.

١٢.د. عبد الرزاق اسماعيل ، د. نوفل محمد حسين ، احمد علي اكبر، تكنولوجيا اللحام ، الجامعة التكنولوجية ، بغداد ، ١٩٩٣ .

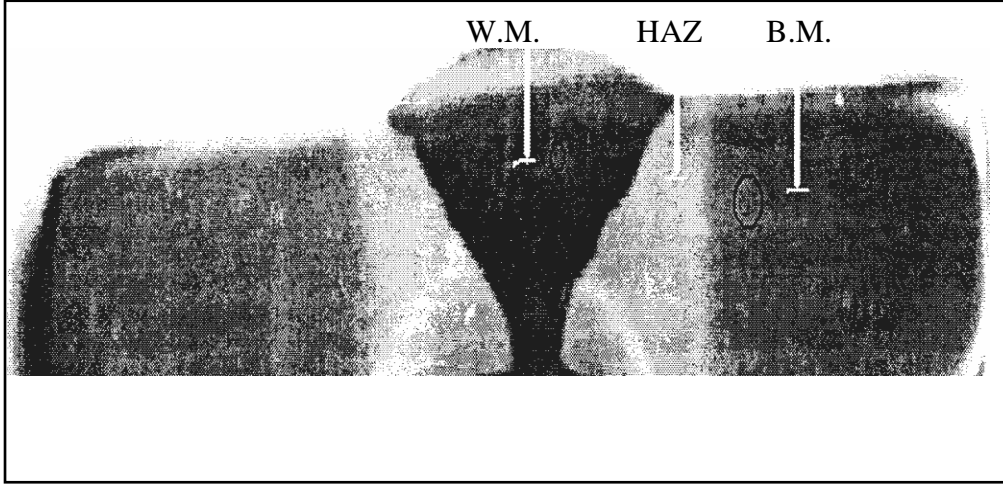
13. J.A. Brooks, and J.C. Williams , "Fundamentals Study of the Beneficial Effects of  $\delta$  - Ferrite in Reducing Weld cracking " Welding Journal, No. 6 ,Vol. 63 , PP.71S,1984.
14. T.L. Hebble D.A. Canonico, D.P. Edmonds and R.K. Nanstad , " Analysis of Delta – Ferrite Data from Production Welds on Stainless Pipe " , Welding Journal, No. 9 , Vol. 64 , 1985, pp260s – 265s. Steel

١٥. سامي علي ناوي " تقييم بعض المواصفات الميكانيكية لوصلات اللحام بطرق القوس الكهربائي " رسالة ماجستير ، الجامعة التكنولوجية ، ٢٠٠٥ .

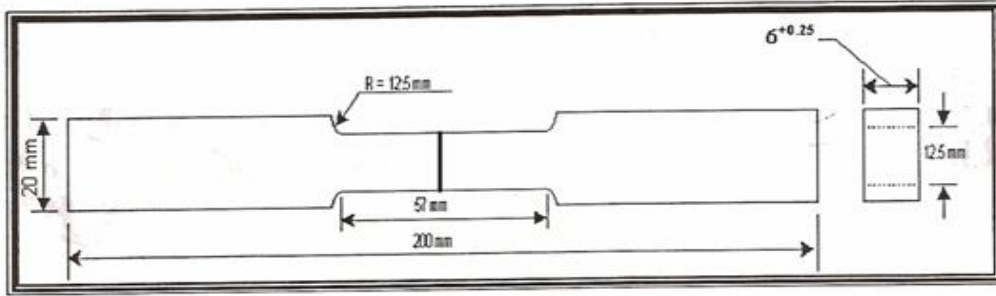
16. [WWW.hurstcorp.com](http://WWW.hurstcorp.com) , "Stainless Steel Primer " ,2003.



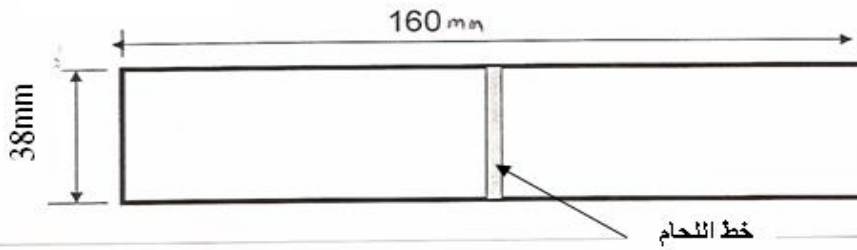
شكل (١) :- طريقة وضع القطع أثناء اللحام



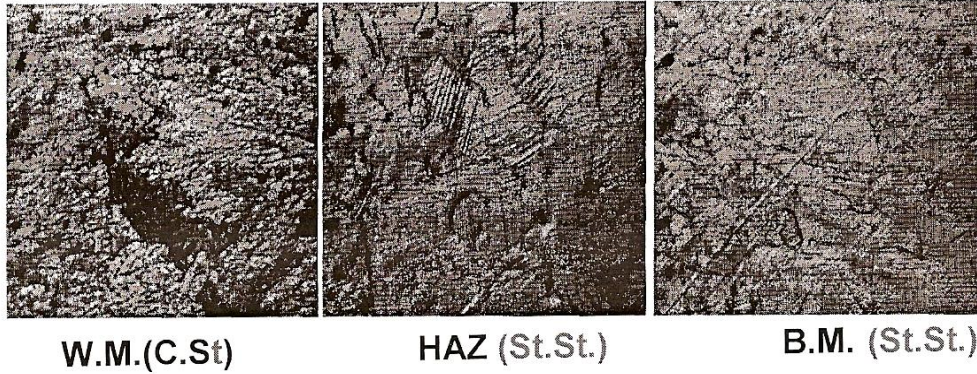
شكل(2):- صورة فوتوغرافية توضح المناطق الثلاث للوصلة الملحومة من الفولاذ مقاوم الصدأ



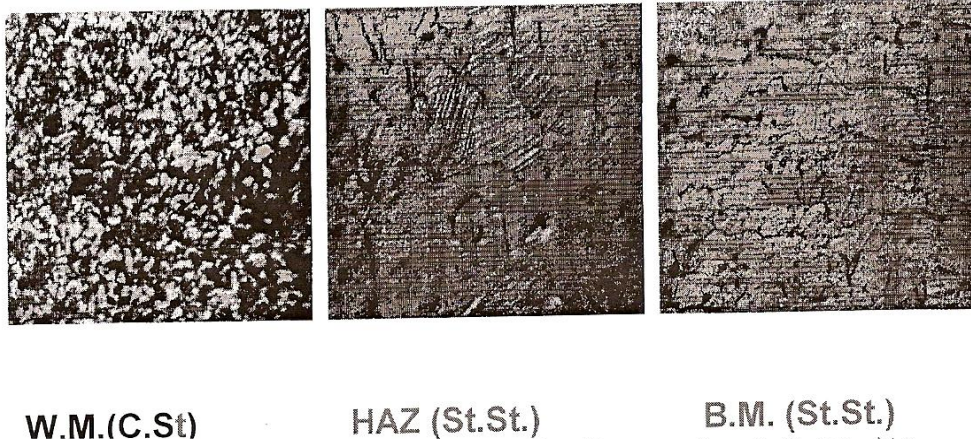
شكل (3) :- أبعاد عينة فحص الشد القياسية



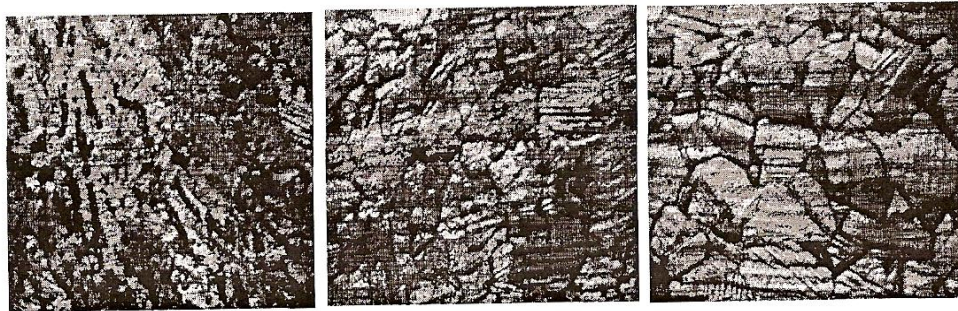
شكل (4) :- عينة فحص الحني



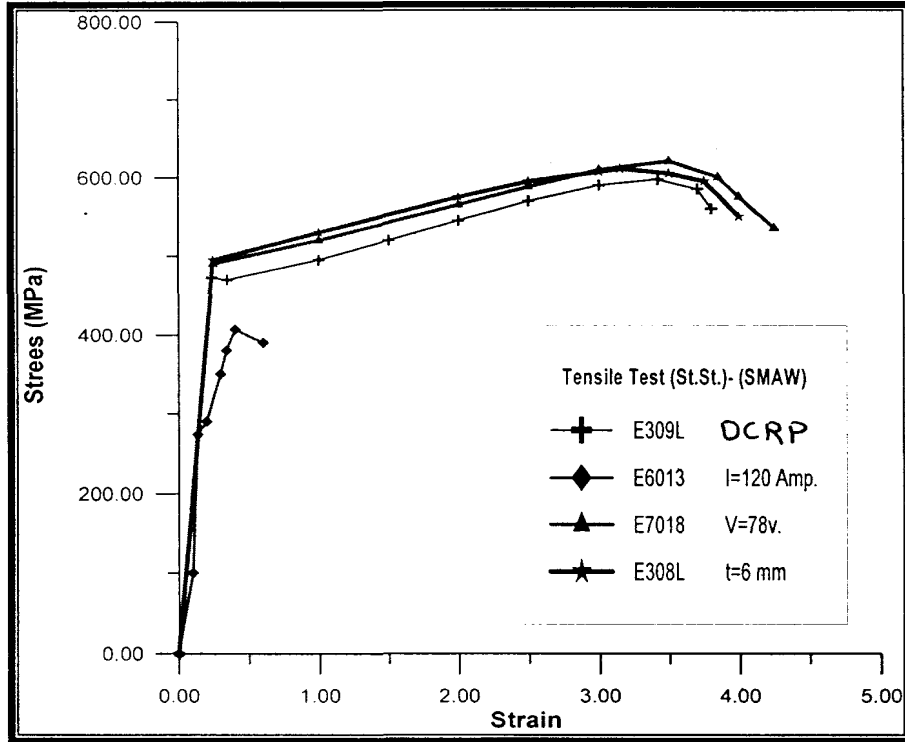
شكل (٥):- التركيب المجهرى للمناطق المختلفة في وصلة اللحام (SMAW) للفولاذ مقاوم الصدأ (316L) باستعمال قطب (E7018) قوة التكبير (250X)



شكل (6):- التركيب المجهرى للمناطق المختلفة في وصلة اللحام (SMAW) للفولاذ مقاوم الصدأ (316L) باستعمال قطب (E6013) قوة التكبير (250X)

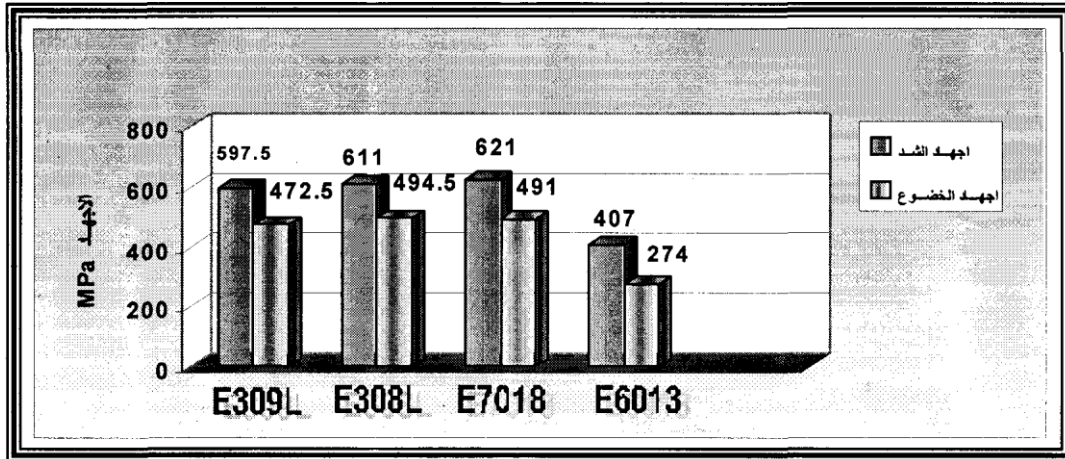


شكل (7):- التركيب المجهرى للمناطق المختلفة في وصلة اللحام (SMAW) للفولاذ مقاوم الصدأ (316L) باستعمال قطب (E309L) قوة التكبير (250X)



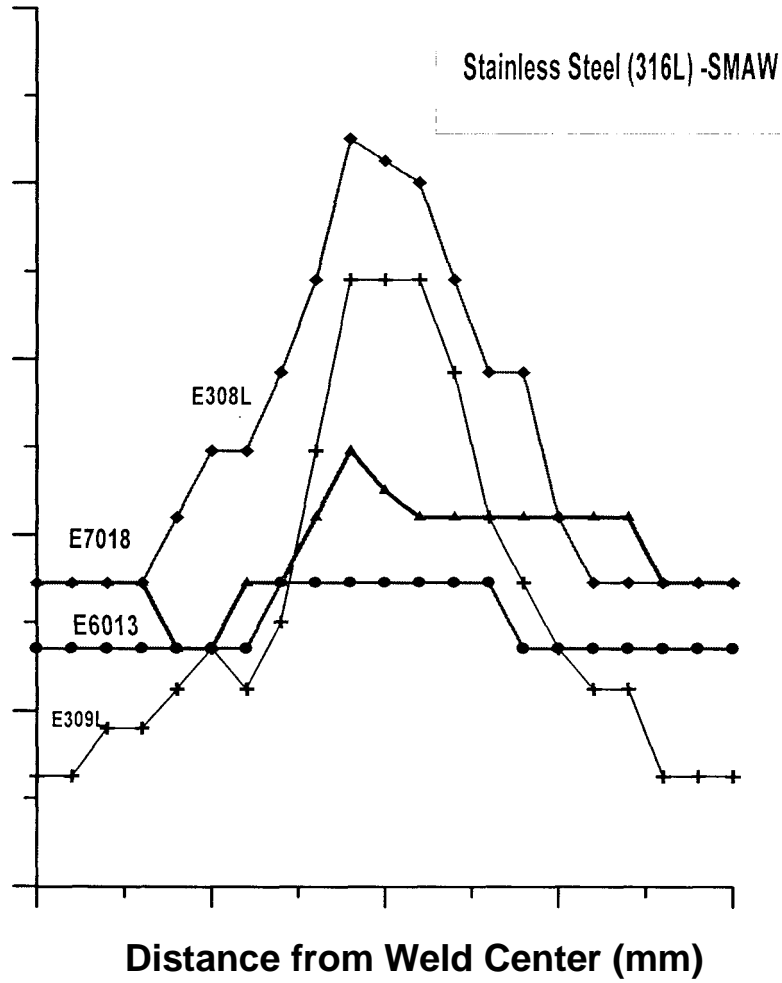
شكل (8):-- العلاقة بين الإجهاد - الانفعال لوصلات لحام من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) ملحومة بطريقة

(SMAW) باستعمال أقطاب لحام مختلفة

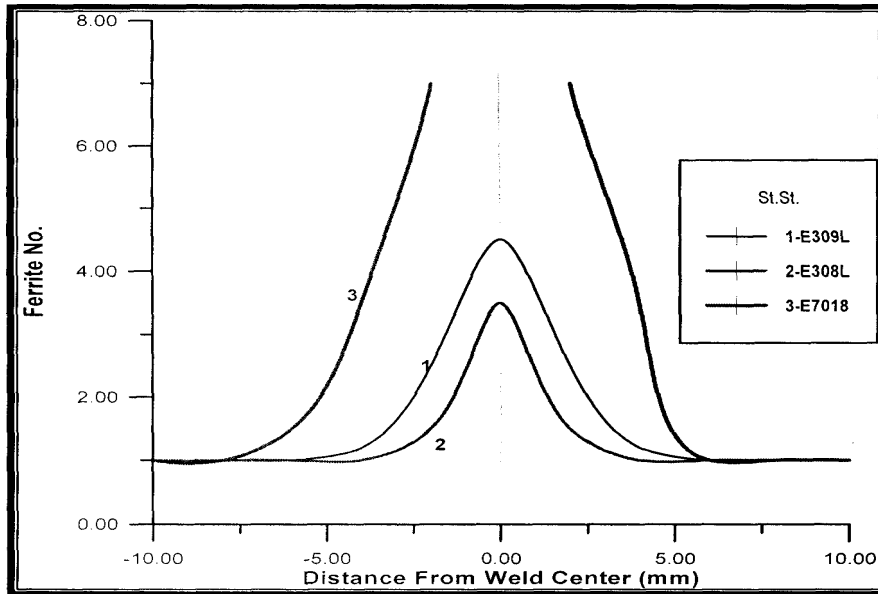


شكل (9):-- بيانات الشد لوصلات لحام من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) ملحومة بطريقة (SMAW) باستعمال

أقطاب لحام مختلفة



شكل (10):-- العلاقة بين الصلادة الدقيقة والمسافة عن مركز اللحام لوصلة لحام من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) ملحومة بطريقة (SMAW) باستعمال أقطاب مختلفة



شكل (11):-- يوضح توزيع قيمة طور الدلتا-فيرريت لوصلة لحام من (St.St 316L) ملحومة بطريقة (SMAW) وباستعمال أقطاب مختلفة

## Evaluation of Some Mechanical Properties of Welded Joints for Austenitic Stainless Steel (316L)

Muna Kudher Abbas<sup>1</sup>, Qasim Abdulhassan Khalaf<sup>2</sup> and Sami Ali Nawi<sup>3</sup>

<sup>(1,2)</sup> University of Technology

<sup>(3)</sup> College of Engineering/University of Diyala

**ABSTRACT** - This research deals with the choice of the suitable filler metal or weld electrode to weld austenitic stainless steel (316L) by shielded metal arc welding (SMAW) and used four types of weld electrodes (E7018, E6013, E309L & E308L) under constant conditions such as plate thickness (6mm), welding current (120A), voltage (78V), reverse polarity (DCRP) and diameter of (3.25) mm. Various inspections were carried out including visual inspection, x-ray radiography inspection,  $\delta$ -ferrite phase and microstructure inspection. Mechanical tests were also conducted to include tensile testing, bending testing & microhardness testing. The results showed that the electrodes (E309L, E308L) are suited to weld stainless steel (316L). The results showed that the microhardness of the weld metal is higher than that heated affected zone (HAZ) and the base metal. The research results showed that (3.5%-4.5%) of  $\delta$ -ferrite phase in weldment from (St.St 316L) by used electrodes (E309L, E308L) respectively.