

تأثير كل من طرائق اللحام بالليزر والـ TIG في قابلية اللحام للصلب المقاوم للصدأ الاوستنايتي والمزدوج

الدكتور مصطفى أحمد رجب
قسم الميكانيك
المعهد التقني - بعقوبة
العراق

الملخص

يهدف البحث إلى دراسة قابلية اللحام للصلب المقاوم للصدأ المزدوج نوع (S31803-SAF-2205)، ومقارنته بسلوك الصلب الاوستنايتي (S30400-AISI 304) عند اللحام أولاً بطريقة لحام القوس الكهربائي لقطب التنكستن باستعمال الغاز الواقي (TIG) اليدوية بتسليط حرارات داخلية تتراوح ما بين (110-450)جول/ملم دون استخدام حشوات لحام، أو باستخدام حشوات لحام نوع (22.8.3.L.N) للصلب المزدوج نوع (530800-AISI 308) الاوستنايتي، وثانياً بطريقة اللحام بالليزر باستخدام جهاز (ND-YAG) بطاقة (1.25 KV).

أوضحت نتائج البحث أن زيادة الحرارة الداخلة عند اللحام بطريقة (TIG) ودون استخدام حشوة لحام ولكلا الصليبين أدت إلى هشاشية الوصلة الملحومة نتيجة ترسيب الكربيدات، ونمو الحبيبات في الصلب الاوستنايتي، وترسيب طور سيكما، والكربونتريدات في الصلب المزدوج عند منطقة التأثير الحراري. أمّا عند استخدام حشوات اللحام لكلا الصليبين وبجميع الحرارات الداخلة لم يؤدي إلى حصول الهشاشية في الوصلة الملحومة بنفس المقدار الذي حصل عند اللحام دون استخدام حشوة، وكذلك هو الحال عند اللحام بالليزر فلم تحصل هشاشية في الوصلة الملحومة بسبب معدل التبريد العالي المصاحب لعملية اللحام بالليزر الذي لم يؤدي إلى ترسيب الأطوار التي تسبب هشاشية الوصلة الملحومة.

المقدمة Introduction

الصلب المقاوم للصدأ عبارة عن سبيكة حديدية (ذات أساس حديد) تحتوي أكثر من (12%) من عنصر الكروم الموجود بشكل ذائب في حالة جامدة، إضافة إلى نسبة قليلة من الكربون وبعض العناصر الأخرى مثل النيكل والمولبدنيوم والتيتانيوم لتحسين خواص معينة [1,2,3] وبناء على نسب العناصر الموجودة في الصلب المقاوم للصدأ وتأثيرها في التركيب المجهرى، فقد قسمت إلى عدة أنواع من ضمنها الصلب المقاوم للصدأ المزدوج والذي يحتوي على (23-30%) من الكروم، (2.5-7%) من النيكل إضافة إلى التيتانيوم والمولبدنيوم والنتروجين [4]. للصلب المقاوم للصدأ المزدوج قابلية للحام أقل مما هي للصلب الاوستنايتي بسبب تركيبه الميتالورجي المنكون من طورين ذات معامل التمدد الحراري المختلف، والذي يسبب حدوث تشققات وظواهر أخرى مما يسبب تقليل قابلية لحامه [5]. يعتمد اختيار طريقة اللحام الملائمة للصلب المقاوم للصدأ المزدوج على اعتبارات عديدة منها تصميم الجزء المراد لحامه، وسمك المعدن الملحوم؛ وعلى هذا الأساس هناك طرق عديدة يمكن من خلالها لحام الصلب المقاوم للصدأ المزدوج وهي اللحام بالقوس الكهربائي باستخدام أقطاب غير مستهلكة مغطاة بغلاف غازي (TIG) أو أقطاب مستهلكة مغطاة بغلاف غازي (MIG)، أو اللحام بالقوس المغمور (SAW) أو اللحام بالحزمة الإلكترونية (EPW)، ولحام الليزر (LW). يتمتع الصلب المزدوج بمقاومة شد، وخضوع، وتآكل عالية ضعف مما هي عليه للصلب الاوستنايتي، ولكن مع انخفاض بسيط في الاستطالة ومقاومة الصدمة بحيث إن هذه الخصائص أكسبته امتيازات خاصة مقارنة بالأنواع الأخرى، لذا فإن الصلب المقاوم للصدأ يدخل في صناعات عديدة منها صناعة الصواريخ والطائرات وأسطوانات المبادلات الحرارية والحاويات بالإضافة إلى أوعية الضغط [9]. ومن الجدير بالذكر أن قابلية اللحام الجيدة للصلب المقاوم للصدأ المزدوج مقارنة بالصلب الفريتي إضافة إلى الخواص السابقة تساعده في الاستخدامات التي تتطلب ملحومات ذات مقاومة شد وتآكل عالية، لكن التركيب الميتالورجي للصلب المقاوم للصدأ المزدوج والمتكون من طورين ذات معاملات تمدد حراري مختلفة جعلت قابلية اللحام له أقل مما هي للصلب الاوستنايتي بسبب حدوث التشققات الناتجة عن معامل التمدد الحراري المختلف للطورين [10]. لذا فإن هناك عدة متغيرات لكل طريقة من طرائق اللحام تعتمد على نوع المعدن الملحوم، والعمق المطلوب، فعلى سبيل المثال عند اللحام بطريقة الـ (TIG) يكون التيار المستخدم على عدة أنواع منها: التيار المباشر ذو القطبية المستقيمة، والتيار المباشر ذو القطبية العكسية أو التيار المتناوب ذو التردد العالي [11]. أمّا عند اللحام بشعاع الليزر فإن أهم ما يميز هذا النوع من اللحام؛ هو عدم تسخين مساحة كبيرة مجاورة لمنطقة اللحام أي منطقة التأثير الحراري (HAZ) والتي تؤدي إلى تقليل مشاكل اللحام، إضافة إلى الدقة التي نحصل عليها من هذا النوع من اللحام من خلال لحام

الأجزاء المعقدة وخصوصاً لحام المواد ذات التوصيل الحراري المتباين ، كما أنه ومن خلال هذا النوع يمكن تحويل طاقة الشعاع لبعده يصل إلى (50)م مما يساعد في عمليات اللحام والصيانة داخل المفاعلات النووية [13,12] .

الإجراء العملي_ Experimental Procedure

استخدم في البحث نوعان من سبائك الصلب المقاوم للصدأ، هما سبيكة الصلب المقاوم للصدأ المزوج نوع (SAF 2205) S 31803 ، وسبيكة الفولاذ المقاوم للصدأ الاوستينايتي نوع S 31803 (AISI 304) ، حيث تم تحديد نسب المكونات لها كما هي مستلمة. والجدول (1) يوضح نتائج التحليل للسبائك المستخدمة في البحث .

Chemical Composition %	S 31803	S 30400
Cr	20.8	17.5
Ni	5.7	8.2
Mo	2.5	0.15
Mn	1.5	0.63
C	2.02	0.05
Si	0.63	0.91
P	0.13	0.03
S	0.01	0.08
N	0.13	0.08
V	0.64	0.05
Nb	0.03	0.03
Ti	0.01	0.01

جدول (1)

التحليل الكيماوي للسبائك المستخدمة في البحث

تمت عمليات اللحام بطريقة (TIG) بواسطة جهاز اللحام التتكستن اليدوي باستخدام غاز حامل نوع (Lincoln Arc Welder) بثلاث درجات داخلية مختلفة، مرة باستخدام حشوات اللحام المبينة تفاصيلها في الجدول (2)، وعدم استخدام هذه الحشوات مرة أخرى .

Welded Alloy Filler Metal	S 31803 (SAF 2205) 22.8.3.L	S 30400 (AISI 304) S 30800 (AISI 308)
Cr	20.5	17.5
Ni	8.05	8.5

Mo	1.86	0.13
Mn	0.96	1.76
C	0.08	0.07
Si	0.38	1.05
P	0.01	0.03
S	0.07	0.07
N	0.13	
V	0.01	

جدول (2)

التحليل الكيماوي لحشوات اللحام المستخدمة في البحث

ويوضح الجدول (3) تفاصيل عملية اللحام حيث يمكن تغيير قيمة الحرارة الداخلة من خلال السيطرة على كل من الجهد أو سرعة اللحام، ومن خلال المعادلة التالية: [15]

$$(Heat\ Input)\ (HI) = \frac{Voltage\ current}{Travel\ Speed}$$

والجدير بالذكر أنّ سرعة عملية اللحام لم يمكن السيطرة عليها بشكل دقيق لأن عملية اللحام كانت يدوية وليست آلية والتي تؤثر في عدم تساوي كمية الحرارة الداخلة على طول خط اللحام وللحد من هذه المشكلة فقد أجريت عمليات لحام أولية عديدة على قطع أخرى (Scraps) قبل البدء بلحام أية قطعة وذلك للسيطرة على سرعة اللحام. أما عملية اللحام بطريقة الليزر فقد تمت باستخدام جهاز (YAG) بطاقة واحدة هي (1.25 KV) وبزمن نبضة اللحام (Pulse Duration) (10) ملي ثانية بطول موجي (1.60) مايكرومتراً في منتصف العينات بعد عمليات القطع، وذلك من أجل مقارنتها مع طريقة الـ (TIG) اليدوية، وتمت عملية اللحام هذه بنبضات متداخلة (Over. Lapping .Stops) بحيث كانت المسافة بين نبضة وأخرى (0.2) ملم وبمعدل (20) نبضة/دقيقة.

جدول (3)

a - تفاصيل عملية اللحام .

b - عملية اللحام دون استخدام حشوة اللحام .

c - عملية اللحام باستخدام حشوة اللحام .

(a)

الغاز المستخدم	سرعة ضخ الغاز	قطر حشوة اللحام	قطر قطب التنكستن	سرعة تغذية السلك	القطبية
----------------	---------------	-----------------	------------------	------------------	---------

DCSP	120 ملم/دقيقة	1.56 ملم	1.56 ملم	10لتر/دقيقة	99.99% اركون
------	---------------	----------	----------	-------------	-----------------

(b)

المتغيرات الحرارة الداخلة	الجهد (فولت)	التيار (أمبير)	السرعة ملم/دقيقة	الحرارة الداخلة جول/ملم
الحرارة الأولى (الواطنة)	34	8	148/60	110
الحرارة الثانية (المتوسطة)	40	12	128/60	225
الحرارة الثالثة (العالية)	49	15	120/60	390

(c)

المتغيرات الحرارة الداخلة	الجهد (فولت)	التيار (أمبير)	السرعة ملم/دقيقة	الحرارة الداخلة جول/ملم
الحرارة الأولى (الواطنة)	42	13	126/60	260
الحرارة الثانية (المتوسطة)	44	14	123/60	300
الحرارة الثالثة (العالية)	50	16	100/60	450

النتائج والمناقشة Results and Discussion

1- اللحام بطريقة الـ (TIG) .

1-1- تأثير الحرارة الداخلة دون استخدام حشوة اللحام .

1-1-1- تأثير الحرارة الداخلة على الصلب الأوستينايتي نوع (S 30400AISI) .

يوضح الشكل (1) تأثير الحرارة الداخلة على منحني إجهاد الانفعال ، حيث يتضح الانخفاض في مطلية الصلب الأوستينايتي عند زيادة قيمة الحرارة الداخلة في أثناء عملية اللحام ، بحيث تكون قيمة الاستطالة المئوية باستخدام حرارة داخلة عالية (390)جول/ملم هي 28%، في حين تكون هذه القيمة بمقدار (84%) بالنسبة للصلب غير الملحوم، والسبب في ذلك هو زيادة قيمة الحرارة الداخلة التي تؤدي إلى الحصول على حبيبات أوستينايتية غليظة في منطقة التأثير الحراري (HAZ) ، وكذلك فإن بقاء هذه المنطقة عند حرارة عالية لفترة زمنية طويلة نسبياً يؤدي إلى احتمالية ترسيب أطوار هشة في هذه المنطقة على الرغم من أن ذلك لم يتم الكشف عنه بشكل واضح

من خلال البحث، بالإضافة إلى أن الحرارة العالية تؤدي إلى الحصول على حبيبات دندراتية في منطقة الحام، وهذا ما بينه التركيب الميتالورجي للصلب الأوستينايتي الملحوم باستخدام حرارات داخلية عالية كما موضح بالشكل (2) لذا يمكن القول: إن الصلب المقاوم للصدأ لا يمكن لحامه بهذه الأسلاك عند استخدام حرارة عالية إلا عند استخدام حشوات اللحام.

1-1-2- تأثير الحرارة الداخلة على الصلب المزدوج نوع (S 31803SAF 2205)

يلاحظ أن تأثير الحرارة الداخلة يكون واضحاً في قيمة الاستطالة المئوية بالنسبة للصلب المزدوج كما موضح بالشكل (3)، حيث تنخفض المطيلية عند زيادة قيمة الحرارة الداخلة في أثناء عملية اللحام، بحيث تكون نسبة الاستطالة المئوية باستخدام حرارة داخلية واطئة (110) جول/ملم هي (32%)، في حين تكون هذه القيمة باستخدام حرارة داخلية عالية (390) جول /ملم هي (12%) بينما تكون هذه القيمة للصلب المزدوج غير الملحوم هي (45%)، والسبب في ذلك يعود إلى أن زيادة قيمة الحرارة الداخلة تؤدي إلى تحول جزء كبير من طور الأوستينايت إلى فرايت في منطقة اللحام، وكذلك في منطقة التأثير الحراري (HAZ) والمعروف أن طور الفرايت يتميز بهشاشة عالية، لذلك فإنه كلما ازدادت كمية الفرايت بزيادة الحرارة الداخلة ازدادت الهشاشة كما موضح بالشكل (4)، بالإضافة إلى أن الحرارة العالية تؤدي إلى الحصول على حبيبات فرايتية غليظة في منطقة التأثير الحراري وذلك بسبب بقاء هذا الطور في تلك المنطقة فترة زمنية طويلة نسبياً وحصول النمو البلوري لهذه الحبيبات، كما أن بقاء الصلب المزدوج لفترة طويلة عند هذه الدرجات الحرارية تعمل على ترسيب الكربيدات الهشة في منطقة اللحام و (HAZ)، وهذه الكربيدات تكون واضحة في منطقة التأثير الحراري (HAZ)، كما موضح بالشكل (4).

1-1-2- تأثير الحرارة الداخلة عند استخدام حشوة اللحام .

1-2-1- تأثير الحرارة الداخلة عند لحام الصلب الأوستينايتي نوع (S 30400AISI 304)

يوضح الشكل (5) تأثير الحرارة الداخلة على قيمة الاستطالة المئوية للصلب المقاوم للصدأ الأوستينايتي حيث يلاحظ أن الانخفاض في النسبة المئوية للاستطالة (المطيلية) عند زيادة قيمة الحرارة الداخلة في أثناء عملية اللحام وباستخدام حشوة اللحام لا يكون واضحاً، وهو عكس ما تم ملاحظته عند إجراء اللحام دون استخدام حشوة حيث لا يوجد انخفاض في الاستطالة المئوية عند استخدام الحرارة الواطئة (260) جول /ملم، والمتوسطة (300) جول / ملم أما عند استخدام الحرارة العالية فيلاحظ انخفاض بسيط فيها . والسبب الأساسي في ذلك يعود إلى استخدام حشوات اللحام التي تساعد على

استقرارية التركيب الميتالورجي لمنطقتي اللحم ومنطقة التأثير الحراري نتيجة لنسبة النيكل العالية في هذا النوع من الحشوة، أما عند استخدام الحرارة العالية فيمكن تفسير الانخفاض في المطيلية إلى تكوين حبيبات دندرايتية في منطقة اللحم بالإضافة إلى حصول النمو البلوري لحبيبات الأوستينايت.

1-2-2 تأثير الحرارة الداخلة على الصلب المزدوج نوع (S31803SAF) (2205).

يبين الشكل (6) تأثير الحرارة الداخلة على الصلب المقاوم للصدأ المزدوج عند لحامه باستخدام حشوة اللحم نوع (22.8.3.L.N) حيث يلاحظ أن زيادة الحرارة الداخلة قد أدت إلى انخفاض قيمة الاستطالة المئوية بشكل مضطرب، وكما هو عليه الحال عند عدم استخدام حشوة اللحم. وسبب هذه الهشاشة التي تظهر هي التغيرات الميتالورجية التي تؤدي إلى حصول هذا النوع من الهشاشة من خلال ترسيب الأطوار الهشة مثل الكاربونترات والكاربيدات في منطقة التأثير الحراري التي من شأنها أن تحدث هذا النوع من الفشل، إن استخدام حشوة اللحم المتضمنة على نسبة عالية من النيكل والنتروجين، أعلى مما هو عليه في المعدن الأساس حيث من غير الممكن الحد من حصول مثل هذه الهشاشة، بل من الممكن أن يساعد في حصولها نتيجة احتواء الحشوة على النتروجين واحتواء المعدن الأساس على الكاربون بحيث إن استخدام الحرارة الواطئة مع هذا النوع من الحشوة لا يؤدي إلى حصول هشاشة عند مقارنة قيمة النسبة المئوية للاستطالة للمعدن غير الملحوم والملحوم باستخدام هذه الحرارة، وهذا يعني أن الحرارة الواطئة تكون هي المثلى للحد من حصول الهشاشة.

2-اللحام بأشعة الليزر .

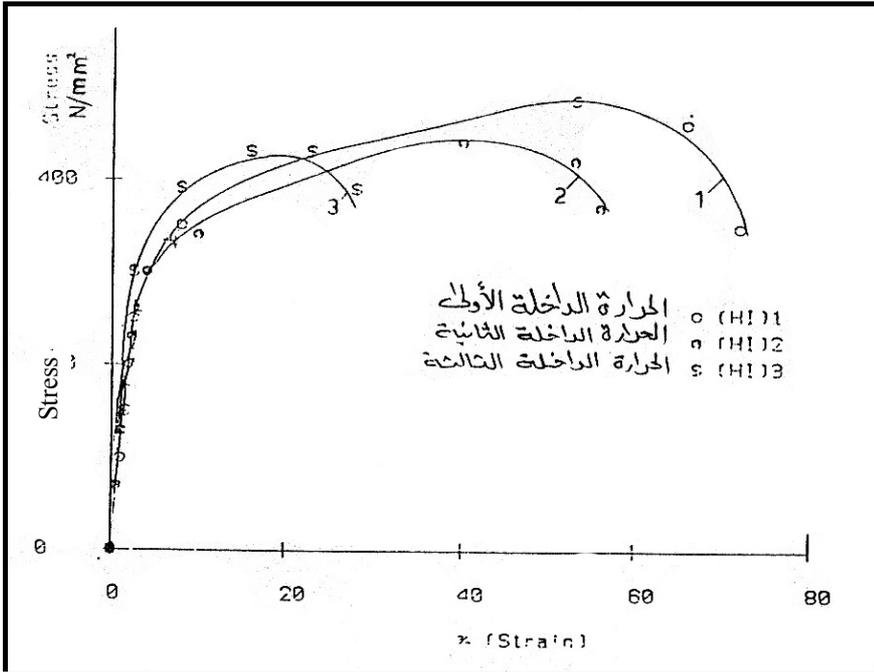
1-2-1 تأثير عملية اللحام بالليزر في الصلب المقاوم للصدأ الأوستينايتي :

عند ملاحظة الشكل (7) نجد أن اللحام بالليزر للصلب الأوستينايتي نوع (S 30400) يؤدي إلى انخفاض في قيمة الاستطالة المئوية، وهذا الانخفاض الذي يصاحب عملية اللحام بطريقة الـ (TIG) إلا عند استخدام الحرارة الواطئة وهذا يعني بأن لحام الليزر لا يؤدي إلى ترسيب الأطوار الهشة المؤدية إلى حصول مثل هذا الانخفاض، وهذه الأطوار هي طور سيكما والكاربونيتريدات التي لها الأثر في حصول الهشاشة. ولكن رغم ذلك تبقى منطقة اللحم (الضعيفة جداً في هذه الحالة مقارنة بمعلومات الـ (TIG)

وهي الأكثر هشاشة مقارنة بالمعدن الاساس إذ يحصل الكسر عندها عند إجراء الاختبار.

2-2-تأثير عملية اللحام بالليزر في الصلب المقاوم للصدأ المزدوج .

يلاحظ من خلال الشكل (7) أنّ اللحام بالليزر للصلب المزدوج نوع (S 31803) ، فعليه من ناحية تخفيض المطيلية أقل ممّا هو عليه الحال عند اللحام بطريقة (TIG) حاله حال الصلب الاوستنايتي، حيث يتبين أنّ الانخفاض في النسبة المئوية للاستطالة المصاحب عند اللحام بالليزر هو أقل من ذلك المصاحب عند اللحام بطريقة الـ(TIG)، ويرجع السبب في ذلك أيضاً إلى أن الأطوار الهشة المترسبة في هذه الحالة والتي تؤدي إلى تقليل المطيلية هي أقل، لأن عملية اللحام بالليزر تصاحبها حرارة عالية ومعدل تبريد عالٍ جداً؛ حيث تكون المنطقة المنصهرة الضيقة جداً والتي تتكون عند اللحام بالليزر يحل عندها الكسر، وهذا يدل على أنّ منطقة اللحام تبقى أضعف من منطقة المعدن الأساسي .

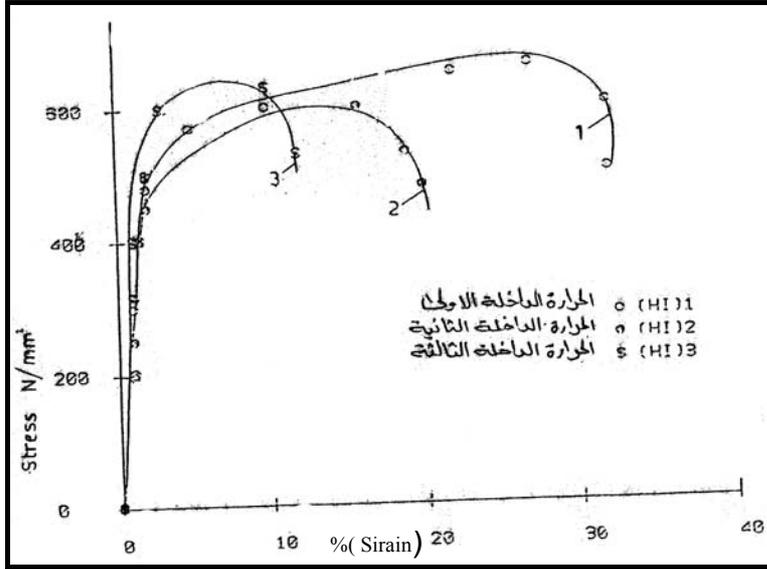


شكل (1) منحنيات الإجهاد - الانفعال للفولاذ المقاوم للصدأ الأوستنايتي الملحوم دون استخدام حشوات اللحام عند معدل الانفعال 1.66×10^{-6} (1/ثانية) عند الظروف المشار إليها أعلاه.

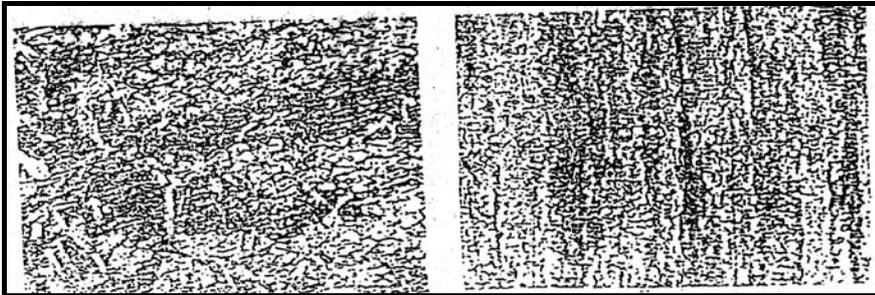


شكل (2)

- الفولاذ الاوستنايتي الملحوم دون استخدام حشوات اللحام ($\times 200$)
- a- منطقة اللحام و (HAZ) عند استخدام الحرارة المتوسطة
- b- منطقة اللحام عند استخدام الحرارة العالية



شكل (3) منحنيات الإجهاد - الانفعال للفولاذ المقاوم للصدأ المزدوج الملحوم دون استخدام حشوات.



ملحوم بحرارة واطنة دون استخدام

كما مستلمة

الحشوة (منطقة اللحام (HAZ)



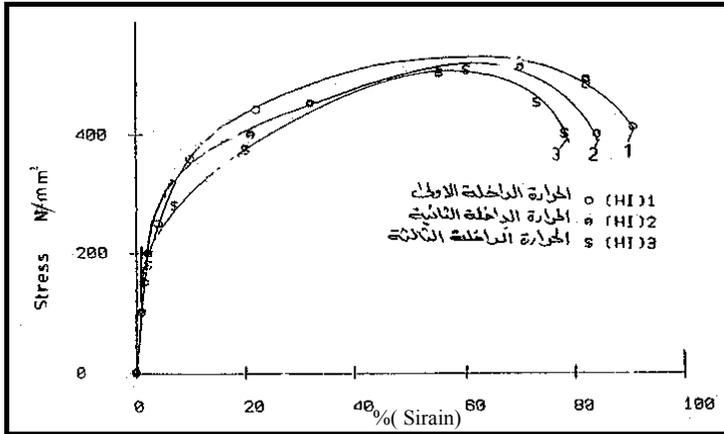
ملحوم بحرارة عالية دون استخدام

ملحوم بحرارة متوسطة دون استخدام

الحشوة (منطقة اللحام (HAZ)

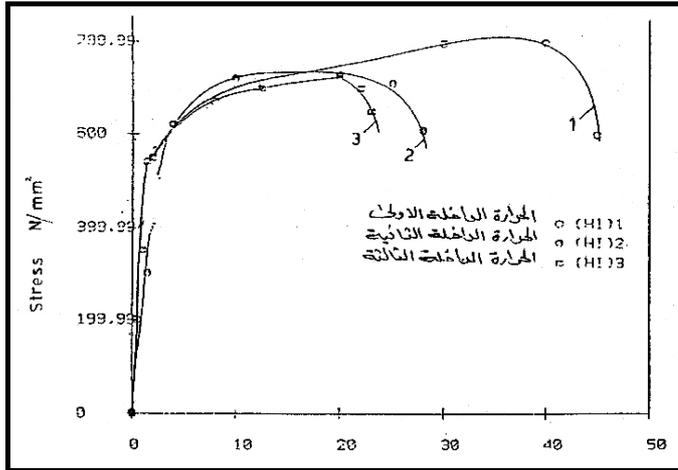
الحشوة (منطقة اللحام (HAZ)

شكل (4) اللحومات المجهرية للفولاذ المقاوم للصدأ المزوج عند الظروف المشار إليها أعلاه (200x)

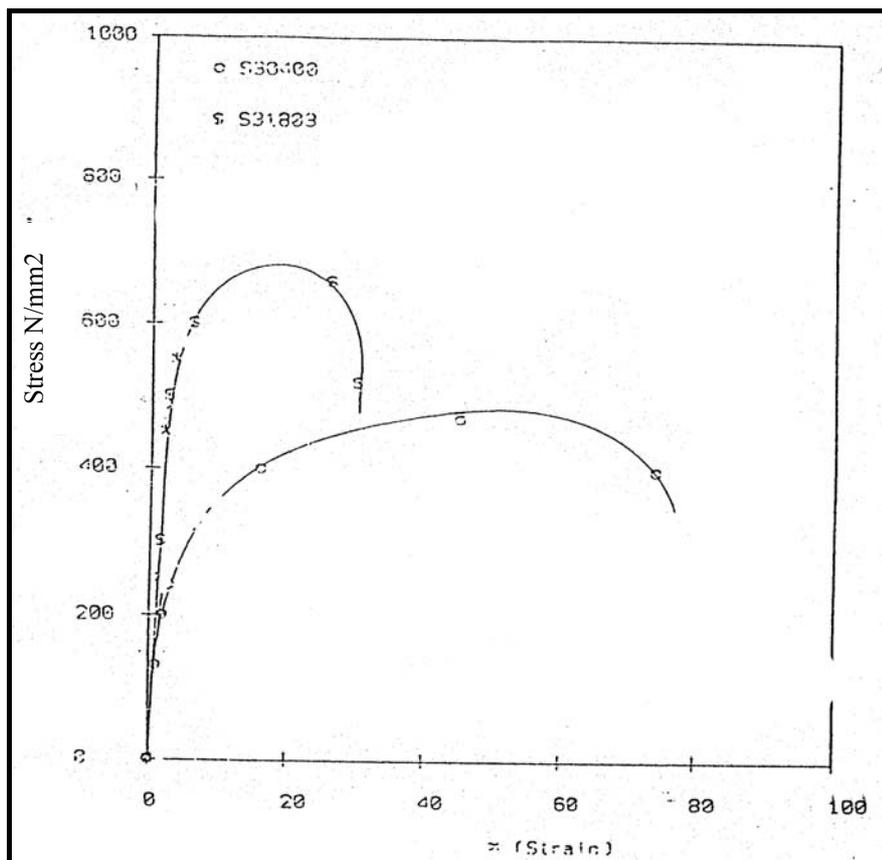


الحشوة (منطقة اللحام (HAZ)

شكل (5) منحنيات الإجهاد - الانفعال للفولاذ المقاوم للصدأ الأوستنايتي الملحوم باستخدام حشوات اللحام عند معدل الانفعال $10 \times 1.66 \times 10^{-6}$ (1/ثانية) عند الظروف المشار إليها أعلاه.



شكل (6) منحنيات الإجهاد - الانفعال للفولاذ المقاوم للصدأ المزدوج الملحوم باستخدام حشوات اللحام عند معدل الانفعال $10 \times 1.66 \times 10^{-6}$ (1/ثانية) عند الظروف المشار إليها أعلاه.



شكل (7) منحنيات الإجهاد-الانفعال للفولاذ المزدوج والفولاذ الأوستنيتي S30400 الملحوم بطريقة الليزر عند معدل الانفعال $10 \times 1.66 \times 10^{-6}$ (1/ثانية) عند الظروف المشار إليها أعلاه.

الاستنتاجات Conclusions

1. تؤدي زيادة الحرارة الداخلة عند اللحام بطريقة الـ (TIG) ودون استخدام حشوة اللحام تؤدي إلى تقليل المطيلية لكل من الصلب الأوستنيتي والمزدوج، وسببها ترسيب الأطوار الهشة وهي الكربيدات في الصلب الأوستنيتي وطور سيكما والكربونيترايدات في الصلب المزدوج.

2. استخدام حشوة اللحام نوع (S 30800) بالنسبة للصلب الأوستينايتي نوع (S 30400) ونوع (22.8.3.L.N) بالنسبة للصلب المزدوج نوع (S 31803) أدى إلى الإبقاء على المطيلية العالية التي تمتاز بها تلك الأنواع في الحالة غير الملحومة ، عند لحامها بطريقة الـ (TIG) وبجميع الحرارة الداخلية ، عدا العالية حيث يصاحب ذلك انخفاض بسيط في المطيلية .
3. اللحام بالليزر لم يؤدي إلى تقليل المطيلية بشكل كبير كما هو عليه عند اللحام بجميع الحرارة الداخلية بطريقة الـ (TIG) دون استخدام حشوة اللحام .
4. يفضل لحام الصلب الأوستينايتي نوع (S 30400 AISI 304) باستخدام حشوات لحام عن اللحام بدرجات حرارة عالية .

المصادر Reference

1. Metals , Handbook “ Metallography and Microstructure “ ,(ASM) Ninth Edition , volume (9),1985 .
2. Mathews.M.J.,” properties of Duplex Austenitic-ferritic stainless steels” .The Metallurgist and Technology ,May ,(1982),205 .
3. Turner .s. and Robinson .F.P.A .”The Effect on the surfaces oxides produced during Welding on the corrosion resistance “ ,corrosion – NACE-Vol.45,No.9.1989,p.710.
4. Leslie ,” The Physical Metallurgy of steel ” 1982.
- 5-د.حسين باقر رحمة الله "مبادئ هندسة المعادن والمواد" 1984 .
5. Sandvik , SAF,2205 , “Duplex stainless steels “ sandvik steel .Jaunary .1985 .
6. Miura M.and Ogawa .k.KWelding of stainless steels with High corrosion resistance” .Ref.16,No.10.484.
7. Rebensteiner .G.: “The welding of fully Asutenitic stainless steel with high molybdenum Contents “ Ref .14,vol.27,no1/2 ,1989.
8. Relph .M. Davison and James .”practical Guide to using Duplex stainless “Materials selection and Design , January ,1990.p.57.
9. Sridhar .N.Kots .J. and flash .I.H.”A Duplex stainless steel for chloride Environments “ Jurnal of Metals ,March (1985),31.
10. Richard .L.Little “ Welding and welding Technology “ .1973.
- 11-د.مصطفى احمد رجب "قابلية اللحام بطريقتي الليزر والقوس الكهربائي باختلاف تيار اللحام " للصلب الثنائي الطور المنخفض الكربون باختلاف كل من الكسر الحجمي للمارتنازيت ومعدل الانفعال "مجلة الهندسة والتكنولوجيا – بغداد المجلد(15) –العدد(10)-1996 .
11. Nakjima .N, shimokusu.S. and Ishide .T.”Fundamental study on 1 kw and YAG laser welding using optical fiber.14.vol.27,no.516,1989.p.130.