

## تأثير عملية اللحام بطريقة MIG على مقاومة الكلال للفولاذ عند أجهادات ثابتة ومتغيرة السعة

يسرى توما مروكي العمران\*

تاريخ التقديم: 2008/7/2

تاريخ القبول: 2009/3/5

### الخلاصة

تهدف الدراسة الى بيان تأثير الأحمال الثابتة والمتغيرة السعة على مقاومة الكلال لفولاذ كربوني AISI1020 قبل وبعد عملية اللحام التي تمت بطريقة القوس الكهربائي المحمي بالغاز (MIG).

أجريت اختبارات الكلال الثابتة السعة بالانحناء الدوار عند متوسط أجهاد مقداره صفر أما الاختبارات عند أجهادات متغيرة السعة فقد أجريت عند أجهاد عالي\_ واطى إذ ان مقدار الأجهاد العالي كان قريب من أقصى أجهاد شد للمعدن قبل اللحام والذي تم الحصول عليه من اختبار الشد الذي أجري للمعدن قبل وبعد عملية اللحام، إذ وجد أنه يساوي 400 MPa للمعدن بدون لحام و 450 MPa للمعدن الملحوم، أما الأجهاد الواطى فقد أنتخب بنسب من حد الكلال للأجهاد الثابت السعة وهي 10-15-20% من حد الكلال.

## The Effect of Welding Process by MIG on The Fatigue Resistance For Steel At Constant And Variable Capacity Stresses

### Abstract

This paper aims to study the effect of loading constant and variable capacity on the fatigue resistance of carbon steel AISI 1020 which welded by metal inert gas and comparing it with metal without welding process .

All the fatigue tests for constant capacity were done by rotating bending of mean stress estimated to be zero. The test for variable capacity stress was done at high-low stress, so the amount of high stress was near the maximum ultimate tensile stress for metal before welding which is obtained from tensile test which was done for the metal before and after welding. It has been found equal to 400 MPa for the metal without welding and 450 MPa for welding metal. Low stress which is selected as percent from fatigue resistance for constant capacity stress which is 10-15-20% from fatigue limit.

### مقدمة

1- شكل وتصميم وصلة اللحام  
2- طريقة اللحام المستخدمة  
3- اتجاه اللحام

وهناك عوامل أخرى تتعلق بالمعدن مثل التركيب المجهري ومقاومة المعدن للتآكل وغيرها [1]. يتم اللحام اما بالحرارة او بالضغط او كلاهما وقد اعتمدنا

تتعرض العديد من تطبيقات اللحام المصنوعة من الفولاذ الكربوني مثل هياكل الجسور وخزانات الوقود الى أجهادات مختلفة منها (شد، ضغط، حني، كلال) وتتوقف متانة ومقاومة المعدن الملحوم للفشل على عدة عوامل منها:

في قيمتها في منطقة اللحام مقارنة بمقاومة المعدن الأساس بالإضافة الى ذلك فان حساب المقاومة يتوقف على نوع وصلة اللحام فمثلا عند لحام الوصلات التناكبية ويهدف الحصول على مقاومة عالية فانه يتم مراعاة مايلي

- 1- السمك :- اذ يعتمد المصمم في الحسابات التصميمية لوصلة اللحام على اقل سمك موجود في المجمعات المطلوب لحامها [4،5]
- 2- طول خط اللحام :- ويعني به خط اللحام من بدايته الى نهايته
- 3- الاجهاد المسلط :- ان تصميم الوصلات التناكبية يتعلق بالاجهاد المسلط الذي تتعرض له وصلة اللحام حيث هناك اجهاد عمودي على خط اللحام ويكون اما اجهاد شدي او ضغطي وهناك اجهاد قصي موازي لخط اللحام وهناك اجهاد حني ويكون عمودي ايضا على خط اللحام حيث درس الباحثون تأثير التصميم على قيمة مقاومة الشد الاقصى وعلاقتها باجهادات الكلال ومنهم prof.ir F,soetens and etal وقد اكد الباحثون ان اللحام التناكبي الخاص بملحومات تتعرض الى احمال ساكنة والتي تتطلب مقاومة عالية . [6]

هناك عدة عوامل تؤخذ بنظر الاعتبار منها سمك الملحومة وطول خط اللحام والاجهاد المسلط وقد اوصى بان يكون سمك منطقة اللحام الفعال هو نفس سمك القطعة بحيث تحصل نفاذية تامة لمعدن اللحام لان الاجهاد المسلط على الوصلات التناكبية هو من النوع الشدي ويكون عموديا على محور اللحام ولقد تم التركيز على حساب المقاومة في منطقة (HAZ) ايضا لانها تتعرض الى اجهادات عمودية واجهادات قصية وقد اشاروا الى تأثير معدن الحشو على الخواص الميكانيكية للوصلات الملحومة ووجدوا ان لمعدن الحشو تأثير مهم في خفض قيمة المقاومة بنفس الدرجة التي يلعبها تأثير

أحد طرق اللحام الأنصهاري وهي طريقة اللحام بالقوس الكهربائي المحمي بالغاز MIG (metal inert gas) وتعتبر من طرق اللحام الشائعة الاستخدام وذلك لسهولة تطبيقها في مدى واسع على المعادن الحديدية واللاحيديية [2]، وتمتاز هذه الطريقة بما يلي:

- 1- إمكانية أجزائها بصورة اوتوماتيكية جزئياً او كلياً
- 2- المعدل العالي للمعدن المترسب في فترة زمنية قصيرة
- 3- استخدام نفس المتطلبات عند لحام المعادن المختلفة
- 4- عدم الحاجة الى خبرة او مهارة عالية للقيام بالعملية

تتولد الحرارة اللازمة للصهر من القوس الناتج من تلامس قطب اللحام مع قطعة العمل وتتوقف كميتها على كل من التيار والفولتية وسرعة اللحام ويضخ غاز خامل مثل الهليوم، الأركون، وغاز ثاني أوكسيد الكربون حيث يعمل الغاز على عزل منطقة اللحام من الأتصال بالمحيط الخارجي وكذلك يعطي أستقرارية للقوس الكهربائي المتولد ويفضل أستخدم غاز الأركون وغاز ثاني أوكسيد الكربون أثناء لحام المعادن الحديدية والشكل رقم (1) يوضح آلية عملية اللحام بطريقة (MIG) [3].

وهناك متغيرات تؤثر على عملية اللحام بطريقة (MIG) منها

- 1- تصميم وصلة اللحام اذ توجد ثلاثة انواع من الوصلات الشائعة الاستخدام هي
  - أ- وصلات تناكبية
  - ب- وصلات تراكبية
  - ج- وصلات زاوية

اذ ان اختيار وصلة اللحام يعتمد بالدرجة الأساس على طبيعة القوة التي ستتعرض لها الملحومات اثناء الاستخدام العملي ومن الامور التي تعطي لها اهمية في تصميم هذه الوصلات هي المتانة التي تعتبر كمتغير للتصميم ويتم تحديد مقاومة المعدن الملحوم طبقاً لمعدن الحشو المستخدم لتجنب انخفاض

ضرر الكلال (Fatigue Damage) أي ان الباحثين حاولوا دراسة تأثير الضرر في فشل الكلال وعلاقته بالعوامل المؤثرة الأخرى مثل نوع المعدن او الحالة التي تجري فيها عملية الكلال [9] ولتحديد العمر الحقيقي للأجزاء الهندسية وتسهيل عملية التصميم بأمان، ركز بعض الباحثين اهتمامهم على وضع نظريات وقواعد تسهم في تخمين العمر الحقيقي للأجزاء الهندسية المعرضة الى أحمال متغيرة السعة ومن هذه النظريات:

1- نظرية الضرر الخطي Linear Damage Rule: وتتص على ان جزء الضرر (D) عند أي مستوى أجهاد ( ) هو عبارة عن تناسب خطي بين عدد الدورات عند ذلك المستوي من الأجهاد ويحقق الضرر (ni) الى عدد الدورات الكلي للفشل (Ni) عند نفس مستوي الأجهاد. وأكدت النظرية ان التنبؤ بالفشل عندما يكون مجموع الضرر للأجزاء عند مستويات أجهاد مختلفة يساوي واحد. أي ان:

$$D1 = \frac{n1}{N1} \dots\dots\dots (1)$$

$$D1 + D2 + \dots\dots\dots + D_{i-1} + D_i = 1 \dots\dots\dots (2)$$

2- نظرية مارش March Theory: وتتص بان الأجهاد المسلط الذي قيمته أقل من حد الكلال لايسبب ضرراً فعندما تكون  $(S_L < S_F < S_H)$  فإن الضرر الناتج هو فقط

الخاص بالأجهاد الأعلى  $(S_H)$  وللتوضيح أكثر فإن الأجهاد العالي هو المسبب للضرر اما الأجهاد الواطئ فله علاقة بمقدار القيمة النهائية للعمر المتوقع لمارش علاوة على أجهاد حد الكلال وعمليا يمكن الحصول على قيمة  $(N_m)$  من المعادلة:

$$N_m = \frac{\sigma_H - \sigma_F}{\sigma_H - \sigma_L} \times N_f \dots\dots\dots (3)$$

حيث ان:

التصميم حيث حصلوا على انخفاض في المقاومة لمنطقة اللحام مقارنة بالمعدن الاساس بسبب تباين التركيب الكيماوي لمنطقة اللحام حسب نوع معدن الحشو. كما اكد الباحثون V.M.Jsharma and [6] بان مقاومة الشد الاقصى للمعدن تتاثر بالتشققات السطحية التي تسببها الحرارة العالية مما يؤدي الى انخفاض في مقاومة الشد وان هذه العيوب التي هي التشققات سواء سطحية او في التركيب الداخلي فان المعرفة المسبقة لخصائص المعدن يجنبنا الفشل وذلك من خلال التعرف على الاجهادات المتبقية وكذلك قام الباحثون [7] G.D.Janaki Ram and etal بدراسة امكانية تعميم الحبيبات من خلال اضافة بعض العناصر السبائكية لمعدن الحشو من اجل تقليل تشققات التجمد وكذلك من خلال السيطرة على التركيب الكيماوي لمعدن الحشو وكذلك تحسين الصلادة ومقاومة الشد والمطيلية والحصول على بنية متساوية المحاور وبالاتجاهات الثلاثة وكذلك الاختيار الصحيح لاسلاك معدن الحشو يحقق تمازج بين معدن الحشو والمعدن الاساس للحصول على لحام متجانز وبين الباحثون دور انواع معادن الحشو المستخدمة على تعميم الحبيبات المتساوية المحاور في المنطقة القريبة في المنصهر (HAZ) وحجم هذه الحبيبات وتوزيع الطور الشجري في منطقة الصهر وتأثير المعاملة الحرارية في تحسين الخواص الميكانيكية لها.

#### الجزء النظري:

من الضروري تقدير عمر الكلال للأجزاء الهندسية المعرضة الى اجهادات متغيرة السعة لأن هذا التغير في سعة الأجهاد المسلط سوف يجعل استعمال منحنى الأجهاد-عدد الدورات (S-N curve) القياس الذي يحدد حد الكلال غير ممكن لأن المنحنى وجد للأجهاد الثابت السعة [8] وبناءً على ذلك فقد افترض الباحثون فرضيات عديدة منها ان عملية تعرض الجزء لأي سعة أجهاد دوري سوف ينتج

لفترة زمنية مقدارها ساعة واحدة (1 hr)، بعدها تركت

الوصلات لتبرد في الفرن بهدف إزالة إجهادات عملية اللحام الحرارية والحصول على إعادة تبلور للحبيبات.

3- عينات الأختبار وهي:

أ- عينات أختبار الشد: إذ صنعت وفق

المواصفة القياسية DIN 176000

وذلك بعد قطعها من وصلة اللحام

بأتجاه عمودي على خط اللحام، والشكل

رقم (3) يوضح أبعاد عينة الشد.

ب- عينات أختبار الكلال: صنعت وفق

المواصفة القياسية ASTM لغرض

فحصها بالأحناء الدوار عند متوسط

أجهاد مقداره صفر، وان أبعاد عينة

الكلال موضحة في الشكل رقم (4).

4- الفحوصات والأختبارات:

أ- فحص الأشعة السينية (X-Ray Fim):

تم استخدام الأشعة السينية (X-Ray

Film) للتأكد من خلو منطقة اللحام من

عيوب اللحام خاصة المسامية

والتشققات الحرارية والمتضمنات

inclusion التي تؤدي الى تركيز

الأجهادات حيث تم الفحص باستخدام

جهاز من نوع (X-Ray Film Test)

وقد تم أستبعاد العينات التي تحتوي

على عيوب.

ب- اختبار الشد:

تم إجراء أختبار الشد على العينات

المصنعة من المعدن الأساس ووصلة

اللحام لغرض تحديد خواص المعدن من

مقاومة خضوع وأقصى أجهاد شدي

قبل وبعد عملية اللحام وان نتائج

الأختبار مبينة في الجدول رقم (4).

ج- أختبار الكلال:

بعد الانتهاء من تصنيع عينات الكلال

من وصلات اللحام ومن المعدن الأساس، تم

تصنيفها الى مجاميع لغرض إجراء الأختبار

وعند الأجهادات الثابتة من منحى (S-N)

والمتغيرة السعة وكما مبين في الجدول رقم

(5)

Nm = العمر المتوقع لمارش (cycle)

Nf = عمر الكلال التجريبي (cycle)

Mpa = الأجهاد العالي  $S_H$

Mpa = اجهاد حد الكلال  $S_F$

Mpa = الأجهاد الواطئ  $S_L$

### الجانب العملي Experimental Work:

تتأول الجانب العملي الفقرات

التالية:

1- المعدن المستخدم Metal Selected

تم استخدام فولاذ منخفض الكربون

AISI(1020) وذلك لأستخدامه في كثير

من التطبيقات الهندسية مثل خزانات الوقود

وهياكل الجسور والتركيب الكيماوي للمعدن

المستخدم مبين في الجدول رقم (1). تم

إجراء عملية التحليل الكيماوي بواسطة جهاز

المطياف (Spectrometer) في الشركة

العامة للصناعات الميكانيكية

2- وصلة اللحام Welding Joint

تم الحصول على وصلة لحام

تتناكبية بعد عمل زاوية لحام تحضيرية

مقدرها  $45^\circ$  من جهة واحدة single V

على صفائح من الفولاذ المستخدم

AISI1020 وأبعادها (250x200x14

mm) بواسطة ماكينة لحام نوع Miller

Beltu Weld 602 USA، وقطب لحام

قطره 1.2 ملم نوع AWSER705-6E

والمبين تركيبه الكيماوي في الجدول رقم

(2) وكذلك ظروف عملية اللحام من فولتية

وتيار وسرعة لحام مبينة في الجدول رقم

(3) وبعد الحصول على وصلات اللحام

والمبينة في الشكل رقم (2) تم فحصها

عيانياً للتأكد من خلو الوصلة من العيوب من

عدم أنظام خط اللحام والفجوات المسامية

السطحية، أما العيوب الداخلية فقد تم التعرف

عليها باستخدام جهاز (X-Ray Film) وقد

رفضت الوصلات التي تحتوي على عيوب.

وبعد الانتهاء من عملية الفحص، تم إجراء

عملية تخمير على وصلات اللحام حيث

سخنت في فرن عند درجة حرارة  $650^\circ\text{C}$

من النتائج التي تم الحصول عليها من أختبارات الكلال عند أجهادات ثابتة ومتغيرة السعة والتي أجريت على ملحومة بطريقة القوس الكهربائي المحمي بالغاز MIG مع نتائج اختبار الكلال للفولاذ بدون لحم والموضحة في الشكل رقم (5) والجدول رقم (7) وجد تحسن في مقاومة الكلال عند أجهادات ثابتة السعة من خلال ارتفاع حد الكلال لعينات المجموعة (B) من الشكل رقم (5) مقارنة بحد الكلال لعينات المجموعة (A) من نفس الشكل والتي تمثل المعدن الاساس من خلال التحسن في مقاومة الشد القصوى (σ) وهنالك دور المعاملة الحرارية التي أجريت على الملحومة اذ ساهمت في ازالة الاجهادات الداخلية التي تولدها الحرارة العالية اللازمة لعملية اللحام [12,11,10]. وحصولنا على بنية شجيرية في شكل رقم (6) في منطقة اللحام (W,Z) ساهمت في هذا التحسن من خلال التأخر في تقدم شق الكلال لان الية الكلال تبدأ من نشوء شق عند حبيبة الفرايت وينمو فيها بسرعة ولكنه يتوقف في حبيبة البرلايت ولا يحصل هذا عندما يبدأ الشق في حبيبة البرلايت [9].

اما نتائج اختبارات الكلال عند اجهادات متغيرة السعة والتي أجريت للملحومة عند اجهادات من ( واطيء - عالي ) والمتمثلة بعينات المجاميع (C,D,E) في الجدول رقم (7) حيث ان الاحمال انتخبت تحت حد الكلال وتم اختيارها افتراضيا بنسب ( % 10-15-20 ) من حد الكلال الذي وجد في اختبارات الكلال ذات الاحمال الثابتة السعة اذ وجد انه بزيادة النسبة المئوية للتحميل يعطي نتائج افضل من عمر الكلال بسبب الدرجات العالية في انغلاق الشق التي يسببها التحميل العالي عند الانتقال من مستويات الاجهاد الواطيء الى العالي [13,12] وبالعكس حيث يحدث انخفاض في اعمار الكلال عند التحميل من نوع عالي واطيء .

أولاً: تضمن فحص عينات المجموعة (A) والمجموعة (B) عند أجهادات ثابتة السعة على جهاز الأنحاء الدوار وتم رسم علاقة بين منحني الاجهاد وعدد الدورات وايجاد حد الكلال للفولاذ وان النتائج مبينة في الشكل رقم (5)

من خلال رسم المنحني اعلاه، تم الحصول على معادلة لحساب حد الكلال وكانت النتائج كما مبين ادناه:

$$S_F = 1035.76 N_F^{-0.09985} \quad \text{للمجموعة A}$$

$$S_F = 1181.66 N_F^{-0.09974} \quad \text{للمجموعة B}$$

ثانياً: تم تعريض عينات المجموعة C,D,E الى اجهادات متغيرة السعة حيث انتخبت الاجهادات الواطئة بنسبة 10% للمجموعة C و 15% للمجموعة D و 20% للمجموعة E من حد الكلال للاختبارات ثابتة السعة إذ كان حد الكلال للمجموعة A 200 نيوتن/ملم<sup>2</sup> و للمجموعة B 225 نيوتن/ملم<sup>2</sup>. اما الاجهاد العالي فقد أنتخب من منحني الشد حيث كانت أعلى قيمة لمقاومة الشد الأقصى 460 نيوتن/ملم<sup>2</sup> وقد انتخب الاجهاد العالي قريب من هذه القيمة وكانت 400 نيوتن/ملم<sup>2</sup> وان الاحمال المتغيرة لمجموعة العينات مبينة في الجدول رقم (6).

وان نتائج اختبار عند أجهادات متغيرة السعة مبينة في الجدول رقم (7) وتم تحديد عدد الدورات للفشل وفق نظريتي مارش وماينر وكذلك تراكم الضرر الناتج من تطبيق هاتين النظريتين

ء- فحص البنية المجهرية:

تم الفحص باستخدام المجهر الضوئي عند تكبير 40X لتحديد البنية المجهرية حيث وجد منطقة اللحام فكانت البنية شجيرية حيث الشكل رقم (6) يظهر صورة البنية المجهرية

المناقشة:

[6]-V.m.Jsharma, V.DIWAKAR,S,Arumugham, and T.S.Lak shmanan "residual strength of Alminum alloy Afnor 7020 " science of echnology of welding and joining ,1999, vol .4.

[7]-G.D. Janaki Ram, T.K. Mitra, V.Shankar , S. Sundareasan;"Microstructural Refinement Through Inoculation of type 7020Al-Zn-Mg. Alloy welds and it effect on Hot cracking and Tensile properties "Journal of materials processing Technology 142 (2003)

[8]-اسيل حمد الفهداوي" تأثير اللحام بالقوس مالكهربائي على سلوك الكلال" اطروحة ماجستير. قسم هندسة الانتاج والمعادن ,الجامعة التكنولوجية 1999

-محمد سعيد وحيد" تأثير بعض [9] المعالجات السطحية للفولاذ الكربوني على سلوك الكلال" اطروحة دكتوراه في الفيزياء التطبيقية، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية 1995

[10]-Resistance Welding and Manufacturing, Internet, 2004,[www.tw.co.uk/professional/researchcore2103.html](http://www.tw.co.uk/professional/researchcore2103.html).

[11]-Stwart, W.G., MSC, DME, Gerted, 1997, "Advanced Welding", McMillan Press IPT.

[12]-Meyers, M.A and Chawla, K.K, "Mechanical Behavior of Materials", Prentice Hall Inc.1999

[13]-Jan A. Scher, 2000, "Introduction to M anufacturing Process", Edition Department of Mechanical Engineering, University of Water Ontario.

اما فيما يخص نتائج الضرر المتراكم لعينيات المجموعة (C,D,E) وحسب نظريات تراكم الضرر لماينر ومارش وجد انه عند التحميل من نوع ( واطيء - عالي) اعطت تقديرا امنا لعمر الكلال حيث وجد ان قيمة الضرر كانت اكبر من واحد .

#### الاستنتاجات:

1- تحسن الخواص الميكانيكية بعد اللحام من مقاومة شد وأجهاد خضوع مرتبط بعدة عوامل منها البنية المجهرية لمنطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة وتأثير المعاملة الحرارية عليها وكمية الحرارة الداخلة وتأثيرها على هذه البنية ساهم في تحسن مقاومة الكلال عند أجهادات ثابتة السعة.

2- من المعلوم ان شق الكلال ينمو بسرعة في حبيبة الفرايت ويتوقف في حبيبة البرلايت، ان البنية الشجرية المتفرعة في منطقة اللحام تعمل على اعاققة تقدم شق الكلال أفضل من البنية الكروية.

3- أعطت نظريات الكلال عمر آمن بالنسبة لماينر ومارش حيث أكدت نظرية مارش انه كلما قل الجهد عن حد الكلال كلما كان العمر أفضل

#### المصادر:

[1]-Augur, B., Glen, 2004, J. of Metallurgy, vol.1, No.43, PP.35-40.

[2]-Bed does, J., and Bibby, M.J., "Principles Processes of Metal Manufacturing", 1999

[3]-Escher, J.A., "Introduction to Manufacturing Processes", Third Edition.1999

[4]Prof.ir,Soetens,Ir.B.W,E,VanHove "Design of welded Aluminum connections" Eindhoven university of Technology2001

[5]-Lincoln," The procedure Handbook of arc welding," TWELFTH EDITION, The Lincoln electric company, 1973

جدول رقم (1) التركيب الكيميائي للفولاذ (AISI 1020)

Element	C	Si	Mn	Ni	Mo	Cu	Co	Al	Ti	V	S	P
Wt% Nominal value	0.2	0.009	0.5	0.027	0.005	0.44	0.009	0.001	0.009	0.007	0.05	0.04
Actual value	0.18-0.2	0.01	0.3-0.6								0.05	0.04

جدول رقم (2)، التركيب الكيميائي لسلك اللحام المستخدم

Element	C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	Cr	Cu	Mo
Wt %	0.068	0.763	1.41	0.02	0.001	0.002	0.046	0.026	0.023	0.002

جدول رقم (3)، ظروف عملية اللحام

Voltage Volt	Current Amper	No. of Pass	Wire Speed m/min	Wire Diameter mm
30.5	185	1	29.6	1.2
30.5	195	2	28.8	1.2

جدول رقم (4)، يبين خواص الشد

رمز العينة	$S_y$ Mpa	$S_u$ Mpa	$d$ mm	$H_B$ kg/mm <sup>2</sup>
معادن بدون لحام A	290	400	28	282
وصلة اللحام B	328	460	24	286

جدول رقم (5)، تصنيف عينات اختبار الكلال

رمز العينة	الحالة
A	معادن بدون لحام As received
B	معادن وصلة اللحام
C	عينات تعرضت الى 10% من حد الكلال
D	عينات تعرضت الى 15% من حد الكلال
E	عينات تعرضت الى 20% من حد الكلال

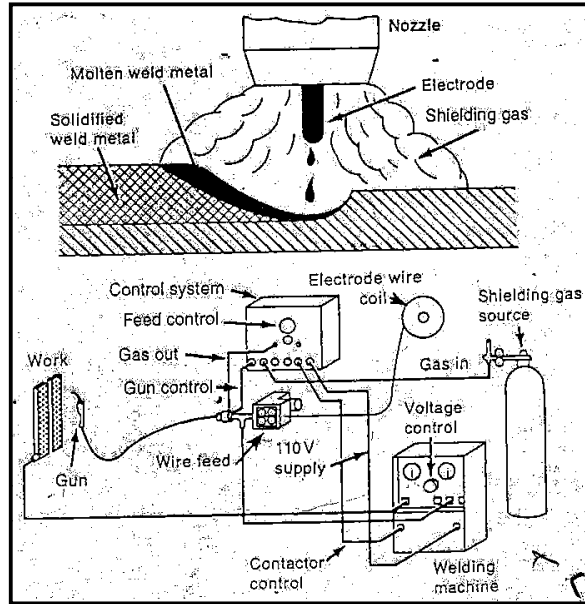


جدول رقم (6)، يبين نتائج الأحمال المتغيرة السعة

رقم العينات	الأحمال الواطنة Mpa	الأحمال العالية Mpa
C	200	400
D	191	400
E	180	400

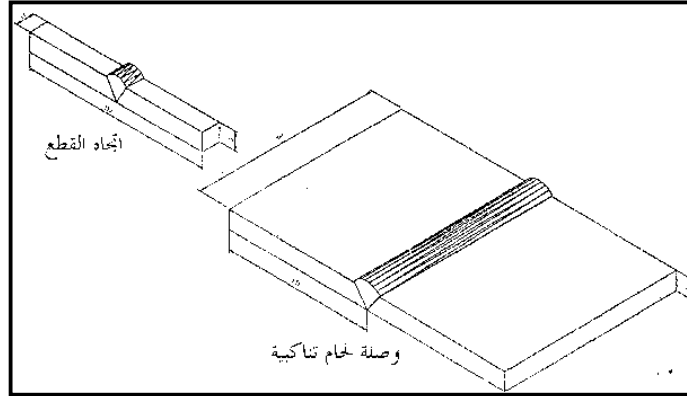
جدول رقم (7) يبين نتائج اختبار الكلال عند أجهادات متغيرة السعة

رمز العينات	عدد دورات الفشل وفق نظرية مارش	عدد دورات الفشل وفق نظرية ماينر	تراكم الضرر حسب نظرية مارش	تراكم الضرر حسب نظرية ماينر
C	61250	89191	0.935	1.15
D	83333	136000	1.1	1.12
E	119318	243000	1.33	1.69

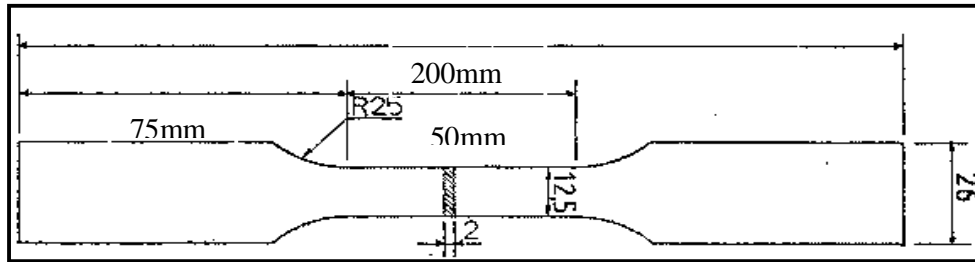


شكل رقم (1) يوضح آلية عمل اللحام بطريقة MIG [2]

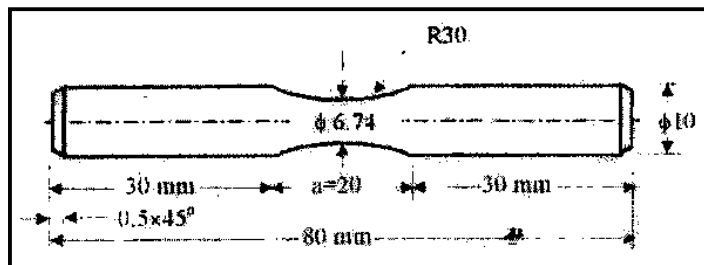




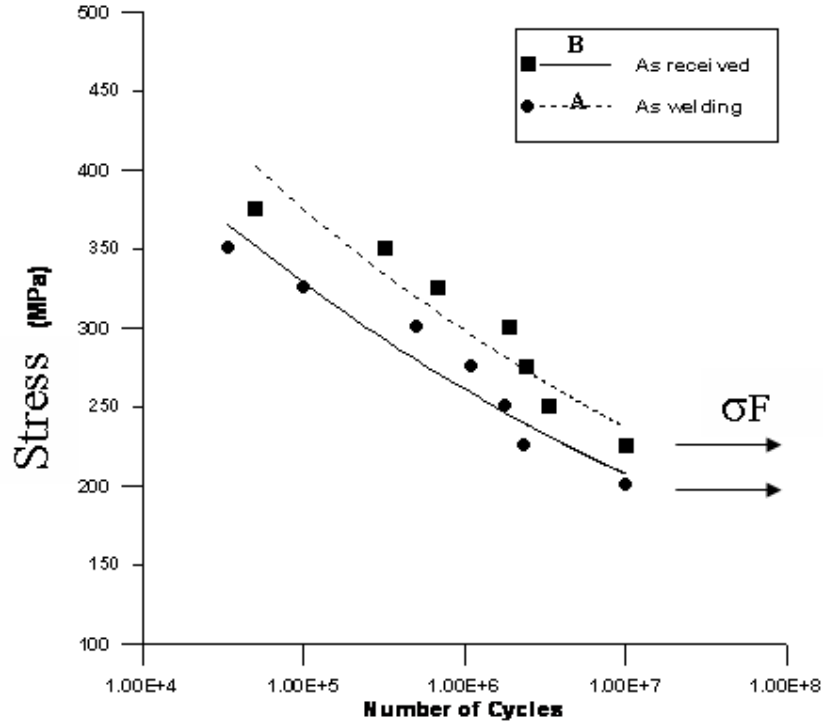
شكل رقم (2) يبين وصلة اللحام



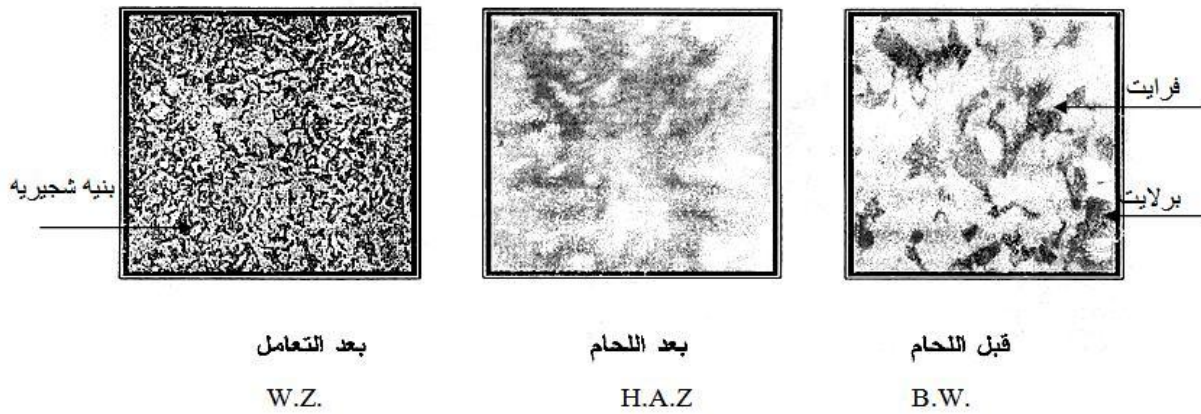
شكل رقم (3) يبين أبعاد عينة الشد



شكل رقم (4) يبين أبعاد عينة الكلال



شكل رقم (5)، يوضح العلاقة بين الأجهاد وعدد الدورات للمجموعة A,B



شكل رقم (6) يوضح صورة للبنية المجهرية