تأثير القذف بالكرات الفولاذية على مقاومة الكلال لوصلات لحام من الفولاذ منخفض الكاربون

د.منى خضير عباس

تاريخ التسليم:2007/2/26
تاريخ القبول:2007/8/2

الخلاصة

يهدف البحث الى دراسة تاثير زمن القذف بكرات فولاذية قطرها 1.25 ملم على مقاومـة الكلال لوصلات تناكبية من الفولاذ الكاربوني المنخفض (AISI 1020) تم لحامها بطريقة القوس الكهربائي المعدني المحمي بالغاز (MIG/ MAG) باسـتعمال غـاز CO_2 كغطـاء. اجريـت اختبارات الكلال بالانحناء الدوار عند متوسط أجهاد مقداره صفر لعينات ملحومة غيـر مقذوفـة وأخرى مقذوفة بالكرات الفولاذية وعند ازمان قذف مختلفة.

أعطت ازمان القذف (10,20,30) دقيقة تحسن في مقاومة الكلال وقد وجد ان افضل مقاومة كلال كانت عند زمن قذف (20) دقيقة وذلك بسبب الاجهادات الانضغاطية العالية التـي ولـدتها عملية القذف بالاضافة الى البنية الشجيرية التي تم الحصول عليها في منطقة اللحام للعينات غير المقذوفة بالكرات.

Effect of Shot Peening on Fatigue Strength of Welded Joints For Low Carbon Steel

Abstract

The aim of this work is to study the effect of the time of shot peening with steel balls of 1.25 mm in diameter on fatigue strength of butt joints for low carbon steel (1020 AISI) welded by metal arc welding shielded with CO_2 gas (MIG/MAG). All fatigue tests were of the rotary bending type at mean stress of zero for welded unpeened samples and shot peened samples at various times.

It was found that all the shot peen times of (10,20,30) minutes have improved the fatigue strength and the best strength has been achieved at the time 20 minutes because of the high compressive stresses induced by the shot peen process and in addition to the denteritic microstructure in the weld zone for unpeened samples .

1 – المقدمة

تتعرض العديد من تطبيقـات اللحـام المصنوعة من الفولاذ الكاربوني مثل هياكل الجسور وخزانات الوقود الـى اجهـادات مختلفة من (شد، ضغط ، حنـي) وتتوقـف متانة ومقاومة المعدن الملحوم علـى عـدة عوامل منها شكل وتصميم وصلة اللحـام, طريقة اللحام المسـتخدمة, اتجـاه اللحـام, طبيعة الإجهاد المسلط وهناك اسباب اخرى تتعلق بالمعـدن مثـل تركيبـه المجهـري ومقاومة المعدن للتأكل وغيرها [3,2,1].

تعتبر طريقة اللحام MIG / MAG من اهم هذه العمليات وذلك يعـود لسـهولة استخدامها على مدى واسع في لحام المعادن الحديدية واللاحديدية , **والشكل (1)** يوضح الية اللحـام بطريقـة MIG [4] . تتولـد الحرارة اللازمة للصهر من القوس النـاتج

قسم هندسة الأنتاج والمعادن الجامعة التكنولوجية بغداد-العراق

https://doi.org/10.30684/ etj.26.3.12
University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq/2412-0758

من تلامس سلك اللحام مع قطعة العمل وتتوقف كميتها على كل من التيار والفولتية وسرعة اللحام وعوامل آخرى. يضخ غاز خامل أوفعال يعمل على عزل منطقة اللحام من الاتصال بالمحيط الخارجي حيث يعطي استقرارية للقوس الكهربائي المتولد ويستخدم غاز الاركون أو ثاني اوكسيد الكربون أو خليط منهما في لحام المعادن الحديدية [5,4].

تتخذ عدة إجراءات لتحسين مقاومة المعدن الكلال منها عملية القذف بالكرات (shot peen) اذ تعتبر عملية تشكيل على البارد تتضمن قصفا لسطح العينة بتيار من الحبيبات ذات السرعة العالية جدا أو بضرب السطح بمطرقة تعمل بتأثير الهواء المضغوط أو من خلال مهاجمة سطح المعدن بواسطة كرات صغيرة مصنوعة من الفولاذ او الزجاج مما يولد أجهادات ضغطية متبقية على السطح كما موضح في **شكل (2)**.

وقد لاحظ الباحث **Gurney** [6] أن مقاومة الكلال تزداد بنسبة 39% وسبب ذلك يعود الى ان أستعمال المطرقة يولد مناطق تشكيل جادة والتي تحسن من مقاومة الكلال بصورة أفضل من عملية القذف بالكرات. ان تحسن مقاومة الكلال ناتج عن التشويه اللدن الحاصل نتيجة القذف الذي يؤدي الى زيادة في الصلادة السطحية بالاضافة الى الاجهادات الضغطية المتبقية والمتولدة في المعدن بعد القذف والتي تساهم في تأخر تقدم شق الكلال على السطح مع الاحتفاظ بقلب متين. ان الاجهادات الضغطية المتولدة تصل قيمتها الى نصف اجهاد الخضوع او اكثر في طبقة سطحية عمقها (0.1-0.5) ملم وان أعلى قيمة للاجهادات الضغطية تصل الى (50-60) % من أقصى اجهاد شدي كما موضح في **شكل (3)**[7].

وقام الباحث **Midori yoshikawa** وجماعته[8] بدراسة سلوك الكلال لسبيكة التيتانيوم (Ti-6Al-4V) المأنودة (Anodized) وأجري أختبار الكلال عند (R=0.1) بعد قذف العينات بالكرات الفولاذية. ولوحظ أرتفاع في مقاومة الكلال وأزدياد عمر الكلال للعينات المأنودة المقذوفة بالكرات. هناك عدة عوامل تؤثر على عملية القذف منها سرعة القذف , قطر الكرة التي يتم قذفها وزمن القذف. ويهدف البحث الحالي الى دراسة تأثير زمن القذف بالكرات الفولاذية على مقاومة الكلال لوصلات ملحومة من الفولاذ منخفض الكاربون .

2 – الأجراءات العملية Experimental Procedures

2 -1 اختيار المعدن Metal Selection

تم اختيار فولاذ منخفض الكاربون (AISI 1020) وذلك لاستخدامه الواسع في الملحومات الفولاذية والتي تدخل في الكثير من التطبيقات مثل خزانات الوقود وهياكل الجسور والبنايات وغيرها. وقد أجري تحليل التركيب الكيمياوي للفولاذ باستخدام جهاز التحليل الطيفي كما مبين في **الجدول (1)**.

2-2 عملية اللحام Welding Process

تم الحصول على وصلة لحام من النوع التناكبي (Butt Joint) بعد عمل زاوية حرف V مقدارها 65° ومن جهة واحدة (Single V) لصفائح من الفولاذ منخفض الكاربون ابعادها (250*200*14) ملم. تم أجراء اللحام بطريقة القوس الكهربائي المعدني المحمي بالغاز باستخدام ماكنة لحام نوع Miller Beltu Weld 602 USA بواسطة سلك لحام قطره (1.2) ملم نوع (AWSER705-6) وان تركيبه الكيمياوي مبين في **الجدول (2)** وباستخدام غاز 100% CO_2 كغاز وقاية Shielded Gas ( ) . وان ظروف عملية اللحام مبينة في الجدول (3) . **والشكل (4)** يبين أبعاد وصلة اللحام التناكبية.

وبعد الانتهاء من عملية لحام الوصلات تم فحصها عيانياً للتأكد من خلوها من عيوب

اللحام من عدم نفاذية معدن اللحام وانتظام خطه. وللتأكد من خلو الوصلة من العيوب الداخلية تم استخدام أفلام الاشعة السينية (X-ray Films) للكشف عن المسامية والفجوات وشوائب الخبث وقد رفضت الوصلة المعيبة . وبعدها اجريت عملية تخمير للوصلات عن طريق تسخينها في فرن درجة حرارته 650°C لمدة ساعة وتركت تبرد داخل الفرن بهدف التخلص من الاجهادات المتولدة من عملية اللحام واعادة تبلور الحبيبات.

2-3 تصنيع عينات الاختبار

1) عينات الشد

صنعت عينات الشد وفق المواصفة القياسية(ASTM E8M, 1988) بعد قطع صفائح من وصلة اللحام بابعاد (250*14*28) ملم باتجاه عمودي على خط اللحام وتشغيلها على مكائن التشغيل للوصول الى الابعاد النهائية المبينة في **الشكل(5)** لغرض اختبارها على جهاز الشد Fritsch Gmb+fpro and onrik (Mebto) نوع (PX-SRG /5000) مصنع في المانيا الغربية وذو حمولة 600 كيلونيوتن.

2) عينات اختبار الكلال

صنعت عينات الكلال وفق الابعاد الخاصة بالمواصفة القياسية حيث صنعت من المعدن الاساس (الفولاذ منخفض الكربون) والقطعة الملحومة (معدن وصلة اللحام) حيث تم قطع صفائح من المعدن الاساس ومعدن وصلة اللحام باتجاه عمودي على خط اللحام وتشغيلها للوصول الى الابعاد النهائية والمبينة في **الشكل (6)** لغرض اختبارها على جهازالكلال بالانحناء الدوار (Rotary Bending) عند متوسط اجهاد مقداره صفر.

2-4 تصنيف عينات الاختبار

بعد الانتهاء من تصنيع العينات صنفت الى مجاميع رئيسية وتم قذفها بكرات فولاذية قطرها 1.25 ملم وبازمان مختلفة (30, 20, 10) دقيقة بواسطة ماكنة القذف (Shot Plast) يابانية الصنع عند ضغط هواء مقداره (7 bar) وسرعة القذف مقدارها (15m/ sec) وان العينات المصنفة مبينة في **الجدول (4)**.

2-5 الاختبارات والفحوصات

اجريت الاختبارات والفحوصات التالية:

1) اختبار الصلادة

تم قياس الصلادة بطريقة برينيل عبر المقطع العرضي لوصلة اللحام واستعملت كرة فولاذية مصلدة قطرها (2.5) ملم وبتسليط حمل مقداره (187.5) كيلونيوتن لمدة (30) ثانية لغرض قياس الصلادة لوصلة اللحام والمعدن الاساس . وقد تم اخذ متوسط القراءات (ثلاث قراءات) لكل من منطقة اللحام والمعدن الاساس وان النتائج مبينة في **الجدول(5)**.

2) اختبار الشد

أجري احتيارالشد للعينات الملحومة المقذوفة وغير المقذوفة لغرض تحديد الخصائص الميكانيكية من مقاومة الشد ونقطة الخضوع والمطيلية وان النتائج مبينة في **الجدول (5)**.

3) اختبار الكلال

اجريت اختبارات الكلال على عينات الكلال المصنفة في **الجدول(4)** بطريقة الانحناء الدوار بمتوسط اجهاد مقداره صفر وان نتائج الكلال ثابت السعة مبينة في الشكل (7) حيث تم ايجاد منحني العمر (S-N Curves) لمجاميع العينات.

4) فحص البنية المجهرية

تم تحضير عينات من القطع الملحومة لغرض فحص البنية المجهرية لها . وقد أجريت عملية التنعيم الرطب بالماء باستعمال ورق كاربيد السليكون بدرجات نعومة مختلفة(1000, 500, 320, 220) ثم تم اجراء عملية الصقل باستعمال قماش صقل خاص مع محلول الالومينا حجم حبيباته (5 µm). ثم اجريت عملية الاظهار (Etching) باستعمال محلول الاظهار(Nital) المتكون من 2 % حامض

النتريك و98 % كحـول ايثـانول وذلـك بتغطيس العينات لمدة 20 ثانية ثم يجـري غسلها بالماء ثم الكحول واخيـرا تجفيفهـا بمجفف هواء.

تم فحص البنية المجهريـة لمنطقـة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة والمعـدن الاساس للعينات غير المقذوفـة باسـتخدام مجهر ضوئي مجهز بحاسـوب وكـاميرا رقميـة . **والشـكل (8)** يوضـح البنيـة المجهرية لمنطقة اللحام والمنطقة المتـأثرة بالحرارة والمعدن الاساس.

3- النتائج والمناقشة Results and Discussion

من النتائج المبينة في **الجـدول (5)** وجد تحسن في مقاومة الكـلال لمجـاميع عينات الكلال (B, C, D) عند مقارنتها مع مقاومة الكلال لعينات المعدن الاساس فـي المجموعة (A) اذ يؤدي القـذف بـالكرات الفولاذية الى تكوين انخلاعات بكثافة عالية وبنفس الوقت سوف يـؤدي الـى تشـويه الحبيبات في الطبقة السطحية بعـد القـذف بالكرات والتي تحسن من خواص الكـلال بالاضافة الى ان التشويه اللدن الذي حـدث نتيجة القذف بالكرات مما يؤدي الى زيـادة في الصلادة السطحية مع توليـد اجهـادات ضغطية عالية تساهم في تاخر تقـدم شـق الكلال على السطح وهذه النتائج تتوافق مع نتائج البـاحثين[9 , 10]. ويلاحـظ مـن **الشكل (7)** الذي يمثل منحنيات الاجهـاد-عدد الدورات لمجاميع العينـات الملحومـة والمقذوفة بالكرات الفولاذية أرتفـاع فـي مقاومة الكلال مـع زيـادة زمـن القـذف من(10) دقيقة الى (20)دقيقة .أذ بلغت قيم مقاومة الكـلال 225 MPa و 250MPa على التوالي وهذه القيم أعلى مما في حالـة العينة الملحومة عير المقذوفة (210Mpa). ويعزى هذا الى ان القذف بالكرات يعمـل على زيادة مجال الاجهـادات الضـغطية المتبقية في الطبقات السطحية مـن معـدن وصلة اللحام والتي تفوق مجال الاجهـادات الشدية مما تؤدي الى تحسين مقاومة الكلال [12,11] .لاحظ **شكل (3)**.

وقد وجد ان زمـن القـذف (20) دقيقـة اعطى أفضل النتائج الميكانيكية من حيـث الصلادة السطحية ومقاومة الشد ومقاومـة الكلال لوصلات اللحام كما موضـح فـي الـج**دول (5).** ويلاحـظ أنخفـاض هـذه الخواص عند زيادة زمن القذف الـى (30) دقيقة ويعزى ذلك الـى حصـول أصـلاد أنفعالي شديد في الطبقات السطحية وتوليـد اجهادات شدية عاليـة والتـي تقلـل مـن الاجهادات الضغطية المفيدة وكذلك تشـجع تكوين شقوق مجهرية دقيقة فـي الطبقـات تحت السـطحية فـي الاجـزاء المعاملـة ميكانيكيا اي المعرضة الى القذف بالكرات الفولاذية والذي يؤدي الى أنخفاض مقاومة الكلال.

وبعد فحص البنية المجهريـة لمنـاطق اللحام للعينة غير المقذوفة بالكرات وجد إن الطور السائد هو الفرايت والبرلايـت فـي المعدن الأسـاس امـا المنطقـة المتـأثرة بالحرارة فتكـون ذات حبيبـات متسـاوية المحاور وناعمة او صغيرة نسـبيا بينمـا تكون منطقة اللحام ذات حبيبـات طوليـة وبشكل أعمدة متوازية من الفرايت وتكـون عبارة عن تركيب شجيري خشن من طور الفرايت وكذلك توجد بلورات من البيرلايت والبيانايت والماتنزايت والاوستنايت المتبقي في معدن اللحام كما مبين في **شكل (8)**.

4 – الاستنتاجات Conclusions

1 – تزداد مقاومة الكلال لوصلات اللحـام بعد قذفها بالكرات الفولاذية.

2 – أعطت أزمان القذف (10, 20, 30) دقيقة تحسن في مقاومة الشـد والصـلادة ومقاومة الكلال مقارنة بالعينات الملحومة غير المقذوفة.

3 – أفضل مقاومة كلال كانت عند زمـن قـذف (20) دقيقـة بسـبب الاجهـادات الضغطية العالية المتولـدة فـي الطبقـات السطحية من وصلة اللحام .

References

1. Markd. Lawerenz, "Shot Peening and Its Effect on Gearing", Metal-Improvement Company, Inc , 1985.
2. Neelakantan M.N., Green R.G., Foo S.H. and John A. S., "Measurement And Control of Impact Finishing Process", Proceedings of First International Conference on Shot Peening Paris, 14-17 September 1981.
3. Uygur I. and Gllenc B., Journal of Metallurgical , Vol. 1, No. 43 , 2004, pp. 35-40 .

4. Sindo Kou,"Welding Metallurgy", 2nd Edition, John Wiley & Sons ,Inc. Publication ,2003.
5. John A. Schey, "Introduction to Manufacturing Processes", 3rd Edition, McGraw-Hill , 2000.
6. Gurney T.R. ,"Fatigue of Welding Structures" ,Cambridge University Press , 1979, pp.25-84
7. Chawla K.K. and Meyers M.A., "Mechanical Behavior of Materials," 4th Edition , Prentice-Hall Inc. USA , 1998.
8. Midori Yoshikawa Pitanga Costa**a** , Herman Jacobus Cornelis Voorwalda,Walter Luis Pigatinb, Valdir Alves Guimarãesa, Maria Odila Hilário Cioffic ,"Evaluation of Shot Peening on the Fatigue Strength of Anodized (Ti- 6Al- 4V) Alloy", Materials Research ,Vol.9 ,No.1 .2006, pp.107-109 .
9. Under Wood. J.H. "Residual Stress Effects at A Notch Root in A723 Steel To Extend Fatigue Life", Experimental Mechanics, Vol.35, No.1, 1995, PP. 61-65.
10. Hammond D.W., Meguid S.A.M, "Crack Propagation in the Presence Of Shot-Peening Residual Stresses", Engineering Fracture Mechanics, Vol. 37, No. 2, pp. 373-387, 1990.
11. Khairi S. Hassan, "The Effect of Ball Diameter Shot Peen on Fatigue Strength For Low Alloy Steel" ,Al-Taqani Journal , Foundation of Technical Education, Baghdad –Iraq ,Vol.20 ,No.2 ,2006 ,pp.1-11.
12. Mohamed H.J. Al-alkawi ,"Cumulative Fatigue Crack Growth Model" , J.M.E.C. , No.17 .2000 .

جدول (1) التركيب الكيمياوي للفولاذ المستخدم

Element %	C	Si	Mn	Ni	Mo	Cu	Co	Al	Ti	V
wt%	0.2	0.009	0.50	0.027	0.005	0.41	0.004	0.001	0.01	0.009

جدول (2) التركيب الكيمياوي لسلك اللحام المستخدم

Element %	C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	Cr	Cu	Mo
wt %	0.068	0.763	1.41	0.020	0.014	0.026	0.041	0.026	0.006	0.002

جدول (3) ظروف عملية اللحام المستخدمة في البحث

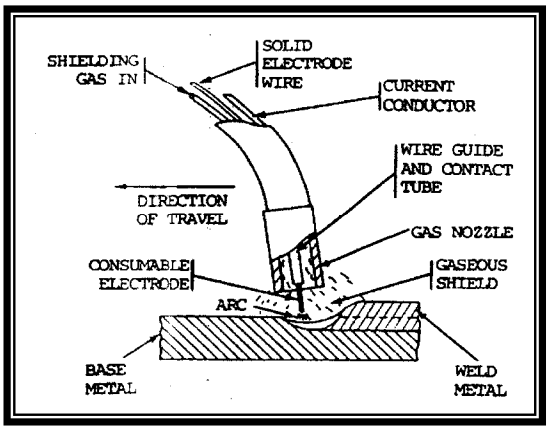
Voltage (Volt)	Current (Amp)	Wire Speed (m/min)	No of pass	Heat input (KJ)	Thickness (mm)
30.5	213	318	1	1226	14
30.5	213	318	2	1226	14

جدول (4) تصنيف عينات الاختبار

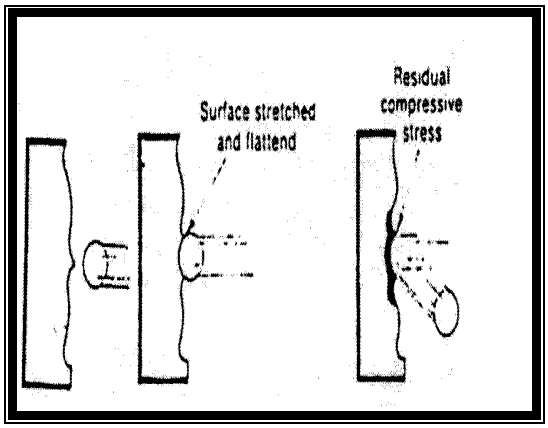
Specimen No.	A	B	C	D
Shot Time (min)	As weld (No shot peen)	10	20	30
Ball Diameter (mm)	_	1.25	1.25	1.25

جدول (5) نتائج اختبار الشد والصلادة والكلال وعدد الدورات حتى الفشل

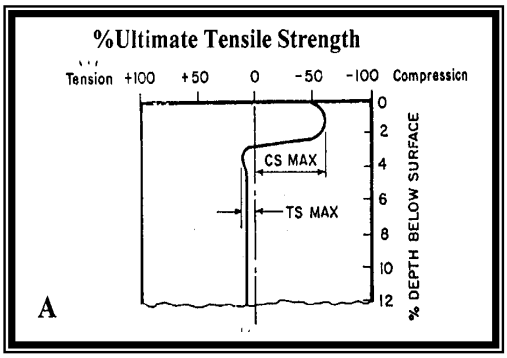
Groups	σ_y MPa	σ_u MPa	HB Kg/mm^2	σ_f MPa	N_f $Cycles*10^3$
A	287	420	182	210	2750
B	383	500	196	225	2193
C	375	537	205	250	2310
D	314	440	202	235	2528

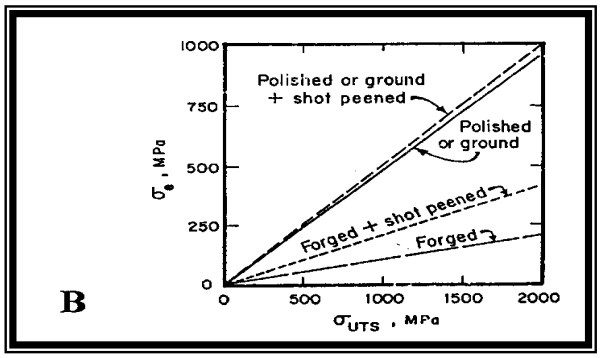


شكل(1) مبدأ لحام القوس الكهربائي المعدني المحمي بالغاز (MIG)

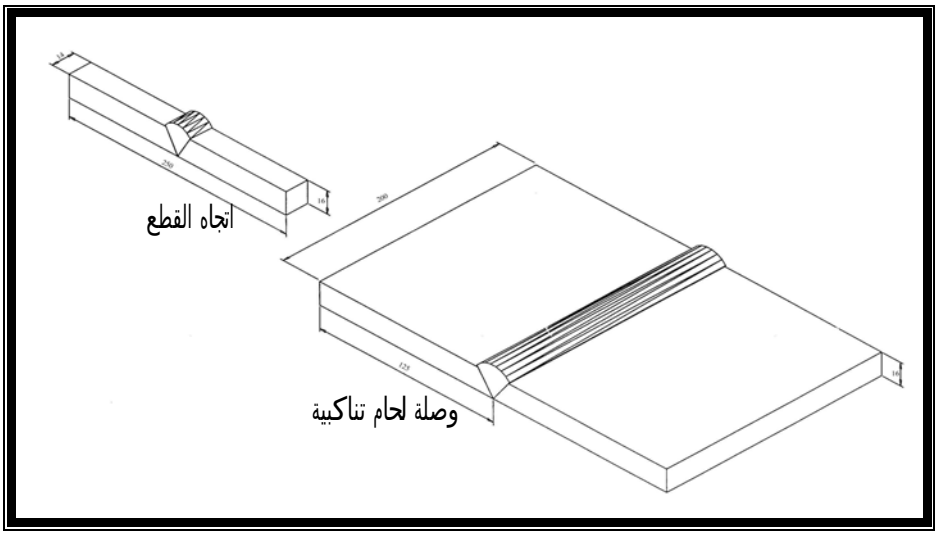


شكل(2) مراحل عملية القذف بالكرات

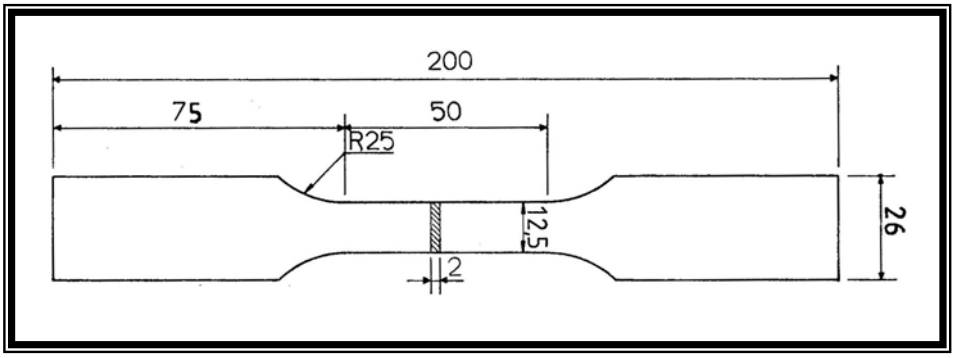




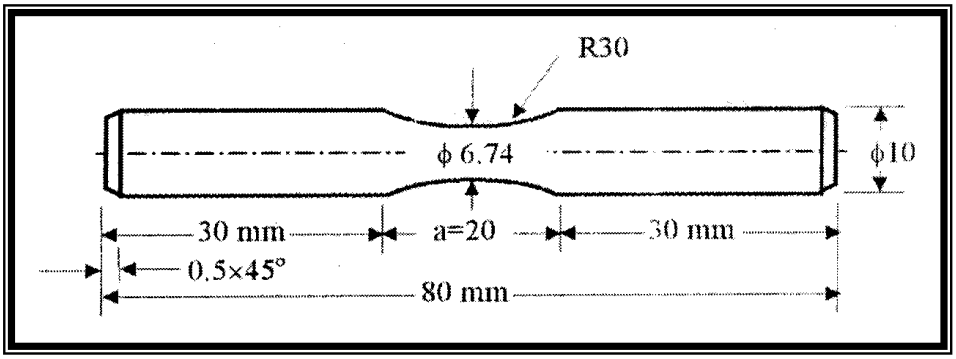
شكل(3) الأجهادات الضغطية المتبقية بعد القذف بالكرات الفولانية



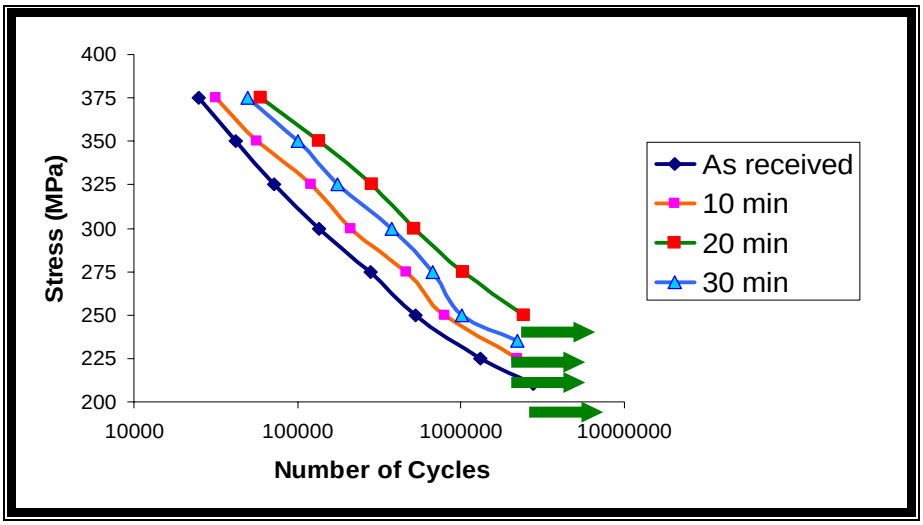
شكل(4) يبين أبعاد وصلة اللحام التناكبية (الأبعاد بالملم)



شكل (5) أبعاد عينة أختبار الشد حسب المواصفات القياسية (الأبعاد بالملم)



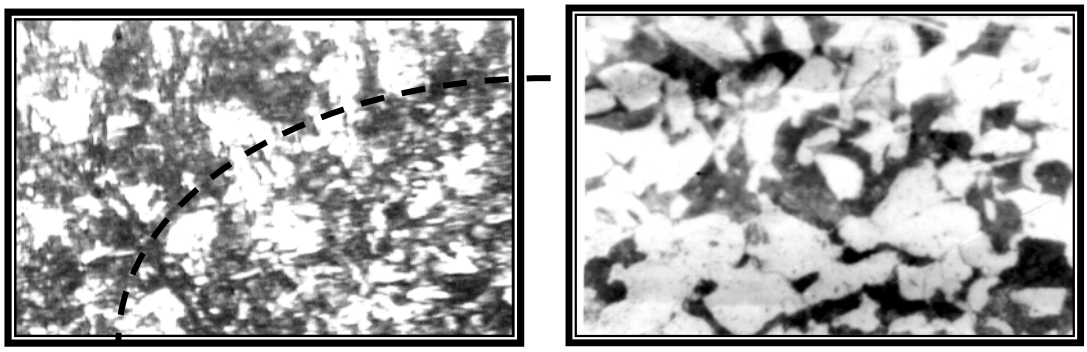
شكل (6) ابعاد عينة أختبارالكلال للانحناء الدوار



شكل (7) منحنيات الاجهاد –عدد الدورات (S- N Curves) لمجاميع العينات المقذوفة بالكرات الفولاذية عند أزمان قذف مختلفة

التركيب الشجيري في منطقة اللحام

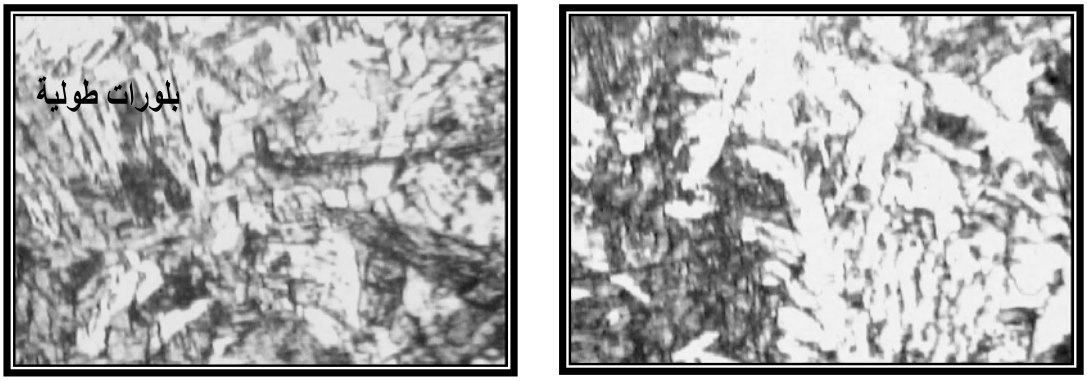
منطقة الأفراط في التسـخين المجـاورة لمنطقة اللحام



المعدن الاساس

المنطقة المتأثرة بالحرارة

شكل (8) يبين البنية المجهرية لمنطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة والمعدن الاساس للعينة غير المقذوفة عند قوة ثك



تكبيرX 400