



دراسة توغل الفطر والفشل في لحام الصلب المقاوم للصدأ

ا.د غازي كمال سعيد
قسم العلوم-كلية التربية الأساسية
جامعة واسط
gkamal@uowasit.edu.iq

ا.د سطار عبود عباس
قسم العلوم-كلية التربية الأساسية
جامعة واسط
starabbas@uowasit.edu.iq

الخلاصة:

تم دراسة معدل مقاومة توغل الفطر الكلاسيكي لعينات عديدة والتي يكون اللحام فيها على أبعاد مختلفة من عينة ملحومة على بعد 5mm الى عينة ملحومة على بعد 25mm بفارق 5mm لكل عينة . لوحظ حصول أعلى مقاومة لمعدل توغل الفطر في العينة التي يكون فيها اللحام على بعد 25mm في حين تقل المقاومة قرب المناطق المتأثرة حرارياً في العينات الملحومة على بعد 5mm و 10mm . كما لوحظ أن الأجهادات المتبقية الأنضغاطية تؤدي الى أعاقلة توغل الفطر في العينات المحتوية على عيوب لحام بمقياس صغير وينعدم هذا التأثير بوجود عيوب لحام بمقياس كبيرة . الكلمات المفتاحية: شروخ ، لحام ، عيوب وتأثير حراري.

Studies Of Fatigue Crack Propagation Rate In Weldments Of Carbon Steel

Sattar, A.Abass. Ghazi K. SAEED
University of wassit/ college of basic Education

Abstract :

The rate of resistance to the penetration of the stress fungus was studied for several samples in which welding is on different dimensions from a welded sample at a distance of 5 mm to a welded sample at a distance of 25 mm, with a difference of 5 mm for each sample. The highest resistance to the penetration rate of the fungus was observed in the sample in which the weld is at a distance of 25 mm, while the resistance decreases near the



thermally affected areas in the welded samples at a distance of 5 mm and 10 mm.

It was also observed that the compressive residual stresses hinder the penetration of the fungus into the samples containing small-scale welding defects, and this effect is absent in the presence of large-scale welding defects..

Keywords : cracks, welding, defects and thermal effect.

المقدمة :

أصبحت حاجة الصناعة لتطوير مقدره التنبؤ بعمر الهيكلية مهمة جداً، من خلال دراسة مقاومة المواد لتوغل الفطر والتي غالباً ما يعزى فشلها الى تعرضها الى اجهادات متغيرة تؤدي الى توغل الفطر الابتدائية المتوقع وجود الكثير منها في احسن المعادن ، لذلك فان معرفة معدلات توغل الفطر ومقاسات الفطر الحرجة للفشل تؤديان من خلال دراسة ميكانيك الكسر المرن الخطي الى التنبؤ بعمر الأجزاء المحتوية على ثلمات أو شقوق. ويكون هذا المدخل مفيداً خاصة في تحليلات التصميم والأمان في التطبيقات الصناعية المختلفة عندما يكون الأهتمام بمنع الفشل ضرورياً.

أن تقنية تحليل ميكانيك الكسر المرن الخطي (Linear Elastic Fracture Mechanics) استخدمت من قبل كرفت في سنة 1920 كما جاء في مقالة كوكاندا [1] ، وهو أول من أفترض شرح لعملية توغل الفطر داخل الهياكل لذلك أصبحت تؤخذ بنظر الاعتبار في تصاميم الهياكل والمكائن ، وتوالت البحوث حول دراسة توغل الفطر الكلاسي (Fatigue Crack Propagation (FCP)) [2-11] والى يومنا هذا .

قدم العالم الألماني المتخصص في كلال المواد أغسطس فولر مفهوم حد الكلال لأول مرة عام ١٨٧٠م [3]، ولكن الدراسات الحديثة تؤكد أنه لا وجود لمثل هذا الحد، وأنه حتماً ستتهار المواد عند التأثير عليها بإجهادات متكررة مهما صغر مقدار هذه الإجهادات ولكن التكرار قد يكون كبيراً جداً [4-7] .

لقد تضمنت الدراسة على الجزء النظري ويشمل مدخل موضوع الكلال مع ما يتعلق بالموضوع من الدراسات السابقة ، والجزء العملي ويشمل شكل العينات المستخدمة وأبعادها وكذلك على النتائج والمناقشة .

الجزء النظري :



من خلال عملية تسليط الحمل المتغير سوف يتولد الفطر بصورة بطيئة خاصة في بداية التحميل وتسمى هذه المرحلة بالمرحلة الابتدائية (initial Stage) حيث يتم استخدام مقياس خاص Clip (Gage) لتحويل قيمة ازاحة فتحة الفطر (Crack Opening Displacement (COD)) الى قراءة طول فطر عن طريق حسابها من المعادلة التالية [13].

$$a = w(c_0 + c_1u + c_2u^2 + c_3u^3 + c_4u^4 + c_5u^5 \dots) \quad (1)$$

حيث أن :

$C_5 \dots C_0$ ثوابت مضمنة في البرنامج التشغيلي الخاص بأختيار الكلال في منظومة فحص الشد .

$$U = \frac{1}{1 + (Beff \times E \times \lambda)^{1/2}}$$

$Beff$ = سمك العينة.

E = معامل المرونة .

الزيادة في فتحة الفطر

$$\lambda = \text{المطاوعة (Compliance)} = \frac{\text{الزيادة في فتحة الفطر}}{\text{الزيادة في الحمل}}$$

الزيادة في الحمل

وبعد تسجيل قيم طول الفطر وما يقابله من عدد الدورات ستحلل النتائج باستخدام طريقة المربعات الدنيا (Least Squares) لحساب da/dN بصورة الية (Automatically) ومن ثم ايجاد قيمة تغير الفطر بالنسبة لعدد الدورات والذي يعبر عنه بوصفه دالة لشدة الاجهاد عند حافة الفطر اعتماداً على تحليل الاجهاد المرن (ΔK) بتطبيق المعادلة التالية لـ بارس (Pairs) [5].

$$da/dN = c(\Delta K)^m \quad (2)$$

حيث أن :

da/dN = معدل توغل الفطر للكلال بالنسبة لعدد الدورات .

c = ثابت عددي .

ΔK = شدة الأجهاد عند حافة الفطر $MPa\sqrt{m}$



m = ثابت يمثل المادة .

a = طول الفطر (ملم).

N = عدد دورات الكلال .

أما قيمة ΔK فتحسب من المعادلة التالية :

$$\Delta K = \frac{\Delta P \sqrt{2+\alpha}}{B\sqrt{w} (1-\alpha)^{1.5}} - (0.886+4.64\alpha-13.32\alpha^2+14.72\alpha^3-5.6\alpha^4) \dots (3)$$

$$\Delta P = P_{\max} - P_{\min} \dots \dots \dots (4)$$

$$\alpha = \frac{a}{w} = \frac{\text{طول الفطر}}{\text{عرض النموذج}}$$

أن حساب معدل توغل فطر الكلال (FCPR) Fatigue Crack Propagation Rate يكون بشكل
مراحل يمكن تلخيصها بالاتي :

المرحلة الأولى : Stage I

وهي المرحلة الأبتدائية والتي يكون فيها توغل الفطر عند الزاوية 450 بالنسبة الى محور الأجهاد
وتستخدم في هذه المنطقة طريقة القاطع (Secant method) [14] بتقنية (نقطة الى نقطة) والتي فيها
يحسب ميل الخط المستقيم الرابط بين نقطتين متجاورتين على منحنى (α) على المحور الصادي و
(N) على المحور السيني بموجب العلاقة التالية :

$$\alpha = \frac{a_{i+1} - a_i}{N_{i+1} - N_i} \frac{da}{dN}$$

هذه المعادلة تحسب الـ (FCPR) لمعدل تدريجتين $(a_{i+1} - a_i)$ ومعدل طول الفطر يستخدم لحساب
 (ΔK) . بموجب معادلة (3)

المرحلة الثانية : Stage II



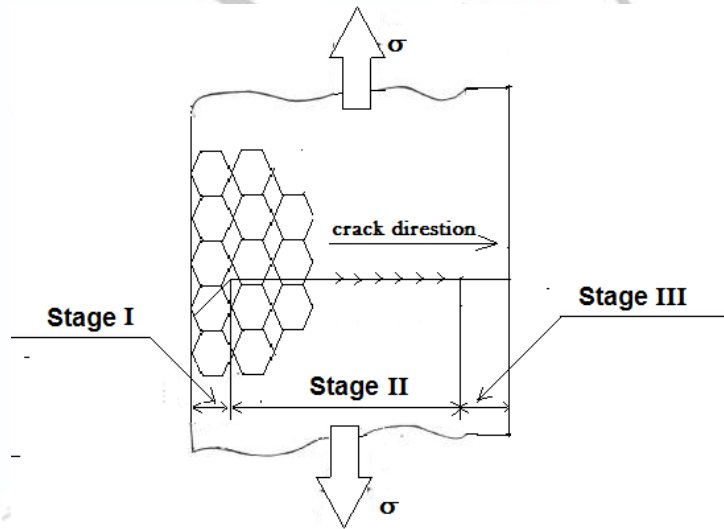
وفيها يكون توغل الفطر عند الزاوية (900) بالنسبة لمحور الأجهاد . وهي طريقة بيانية لتعين ميل الدالة (da/dN) عند نقاط مختلفة للمنحني (a) ضد (N) . والمخططان الآتيان يبينان مراحل توغل الفطر .

أما ثوابت المادة (C,M) فتحسب بواسطة تطابق المعطيات التجريبية (da/dN) و ΔK في قياس الـ Log-log مع المعادلة الخطية لذلك تأخذ الدالة اللوغارتمية لمعادلة (2) الصيغة التالية [7].

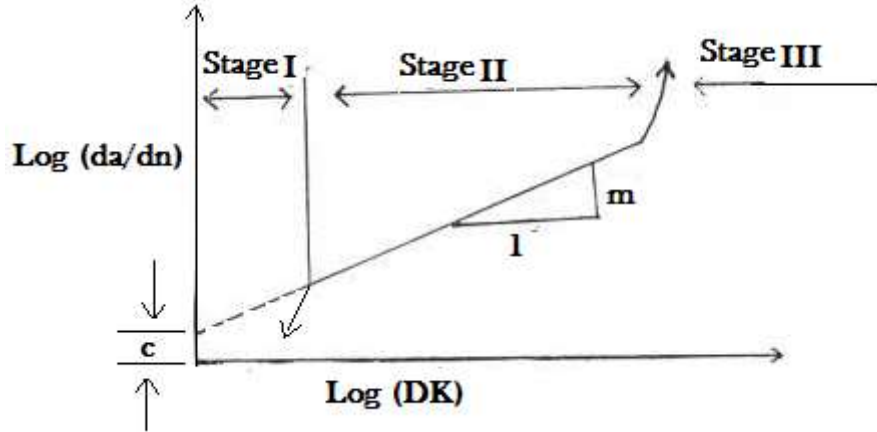
$$\text{Log}(da/dN) = \log(C) + m\log(\Delta K)$$

ونجد النتائج بواسطة تطابق المعطيات مع واحد أو أكثر من الخطوط المستقيمة على مدى المرحلة

الثانية .



مخطط يبين هيكل المادة أثناء مراحل الكسر الكلاسيكي .

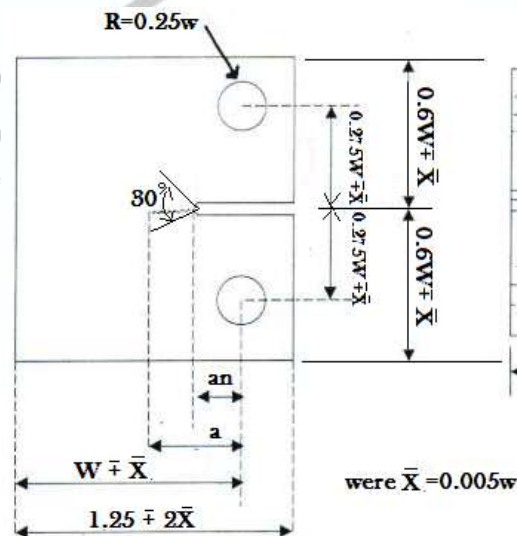


نموذج على التدرج اللوغارتمي لمنحني معدل توغل الفطر الكلاسي .

الجزء العملي :

أ- شكل العينات وأبعادها :

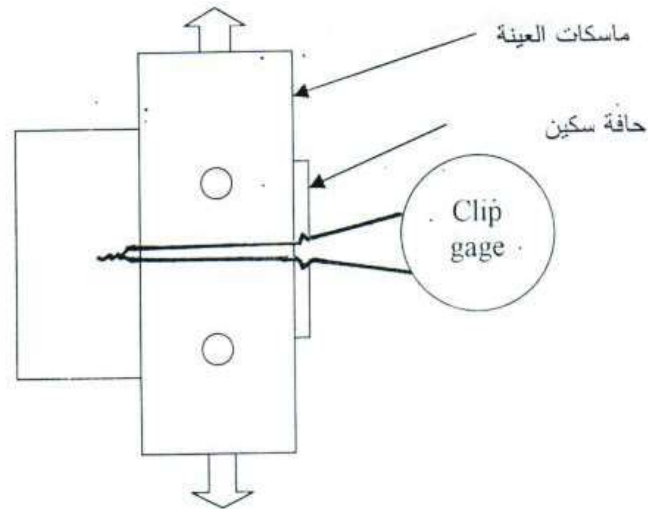
في اختيار توغل الفطر تم استعمال العينة الشائعة الاستخدام ذات الشد المحكم (CT) والمشغلة بالشكل الهندسي وحسب المقاسات العالمية (ASTM), [15] ويجهز على الوجه B زوج من حافات سكين مشغلة بدقة لتثبيت المقييس (Clip gage). وكما هو موضح بالمخطط الآتي :



ب- المقييس : Clip gage



تثبت الحافة الحادة لمقييس مع هذا النوع من العينات لغرض قياس الأنفعال (Strain) وكما في المخطط أدناه :

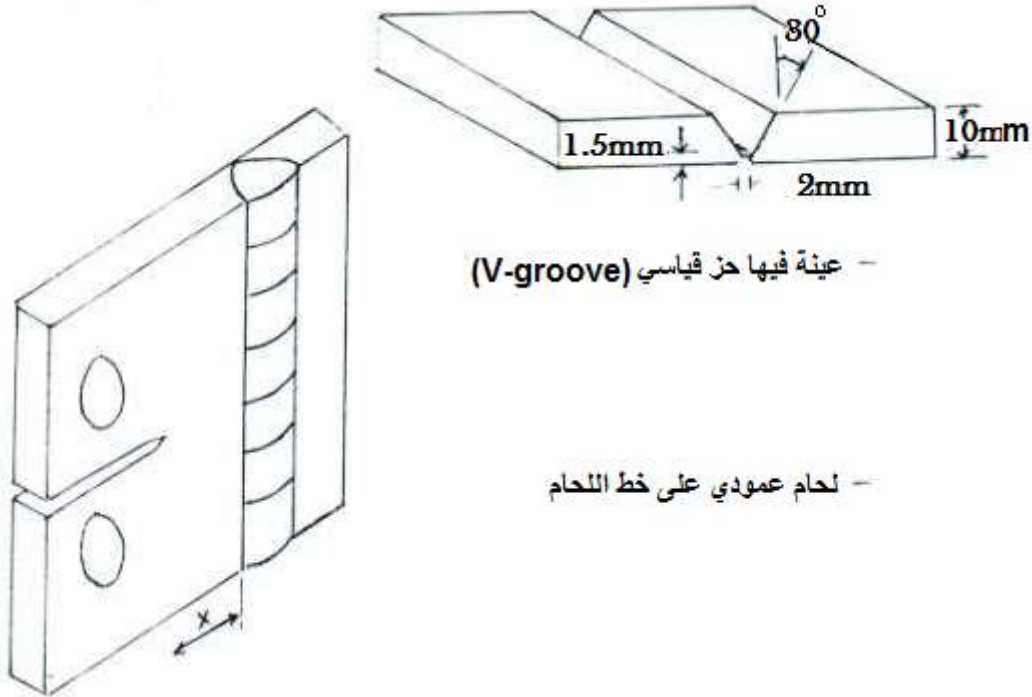


ج- شكل الماسكات : Grips

أما شكل الماسكات فكما مبين في المخطط أنف الذكر ، وتشغيل بأبعاد تلئم جهاز الشد أولاً وشكل وابعاد العينات المراد دراستها ثانياً .

تم تسليط شد دوري ذو تحميل كلالي جيبي الموجة ، Ftigue Loading بذبذبة 30Hz في درجة حرارة الغرفة لجميع العينات المفحوصة ، باستخدام منظومة فحص الشد الأوتوماتيكية SHIMADZU بسعة (5000) كيلو غرام قوة. نسبة وطراق التدريس للعلوم الأساسية
عملية اللحام :

أستخدمت عملية اللحام القوسي اليدوي (ARC) للحام سبيكة الصلب المقاوم للصدأ سفة ASTM . (304) والشكل التالي يوضح عينة فيها حز (V-groove) وعينة أخرى ملحومة وبعد عملية اللحام تجري عملية التجليخ (Grinded) لمنطقة اللحام الى أن تصل الى مستوى سطح المعدن الأصلي .



النتائج والمناقشة :

أ- مقارنة أزاحة أنفتاح الفطر للعينة الأساسية والعينات الملحومة .
تم إجراء التجارب العملية لعدد من العينات الملحومة وكذلك لعينات أساسية لمعرفة تصرفها بعد تسليط الأجهاد المتغير عليها . الشكل (2,1) يبين مقدار أزاحة أنفتاح الفطر الدنيا (Vmin) (minimum crack opening displacement) والعظمى (Vmax) دالة لعدد دورات الكلال لعينات ملحومة على أبعاد مختلفة عن حافة الفطر المشغل مع عينة أساسية . ويلاحظ من الشكلين أن سلوك المنحنيات متشابه للعينات الملحومة والأساسية ويتصرف بوصفه دالة أسية لعدد دورات الكلال ما عدا للعينة $X=25\text{mm}$ وذلك لوجود أجهادات متبقية لانضغاط طولي بسبب كبر منطقة توغل الفطر والتي تسبب بالتالي أعاققة بالنمو [16] .

الشكل (3) يبين سلوك طول الفطر مع عدد دورات الكلال لعينات ملحومة وبأبعاد مختلفة مع عينة أساسية ، ويلاحظ من الأشكال ان طول الفطر يكون دالة أسية لعدد دورات الكلال ما عدا العينة $X=25\text{mm}$ ، بسبب حصول أعاققة لتوغل الفطر

ويلاحظ أيضاً ان مقاومة توغل الفطر تزداد مع زيادة ابتعاد اللحام عن راس الفطر بأكثر من 5mm .

الأشكال (4-9) تمثل منحنيات التتابع (Curve Fitting) وتمثل العلاقة بين معدل توغل فطر الكلاي (daldN) ومدى شدة الاجهاد (ΔK) كما جاء في معادلة (بارس) رقم (2) وتوضيح الأشكال المرحلة الثانية (Stage II)



من معدل توغل فطر الكلاي . ونلاحظ المنحني على شكل خط مستقيم يمثل المادة الاساس (بدون لحام) كما في الشكل (4) والذي يكون متفق مع جاء في الادييات [7,6,5] ،بينما في العينيات الملحومة فنلاحظ ان المعطيات تكون على شكل خطين او ثلاث خطوط مستقيمة بوجود نقطة او نقطتين للانكسار (break Points) على مدى عريض من (ΔK) . وقد وجدت الملاحظات نفسها عند باحثين اخرين [10,12]، كما ان قيم الثابت (m) للعينة نفسها يتغير مع زيادة طول الفطر والذي يتفق مع الباحثين [16,12]، وبصورة عامة فان قيم (m) تقل بزيادة (ΔK) ما عدا في العينة $X=5mm$ والتي فيها قيم (m) تقل في البداية ثم تزداد في المدى العالي لقيم (ΔK) .

ب- مقارنة معدل توغل الفطر الكلاي (FCPR) للعينة الأساسية والعيينات الملحومة .
يوضح شكل (10) مقارنة لسلوك الـ (FCPR) لعينة أساسية غير ملحومة وعينات ملحومة على أبعاد مختلفة من الحز لنفس شروط التحميل .

أن سلوك (FCPR) في العينة الأساسية يكون ناعم على مدى قيم الـ (ΔK) من قيمة العتبة الى نهاية الكسر والذي يكون مطابق لما جاء في الأدييات [10] . ويختلف هذا السلوك عما موجود في العينيات الملحومة . ومن الممكن تلخيص النتائج بالمقارنة بين عينة مع العينة التي تليها .

فبمقارنة النتائج للعينة الأساسية لقيم (FCPR) مع العينة الملحومة $(X=5mm)$ تكون أعلى قليلاً في بداية المرحلة الثانية كما مبين في شكل (10) بعدها يزداد الاختلاف خاصة عندما يكون توغل الفطر خلال المنطقة الملحومة، بعدها يقل تدريجياً عندما يصل المادة الأساسية حيث يصبح المعدل بعدها أقل .

أما الـ (FCPR) في العينة $(X=10mm)$ والعينة الأساس فهو نفسه بالمدى $\Delta K=14 - 17MPa\sqrt{m}$ وبعده تزداد بالعينة الملحومة $(X=10mm)$ تدريجياً بزيادة طول الفطر . أن الـ (FCPR) بالعينة $(X=15mm)$ أقل مقارنة بالعينة $(X=10mm)$ مما يدل على وجود عيوب لحام . أن قيم (FCPR) للعينة $(X=20mm)$ أعلى من تلك القيم للعينة $(X=15mm)$. وهذا السلوك يقل عند القيم العليا لـ (ΔK) .

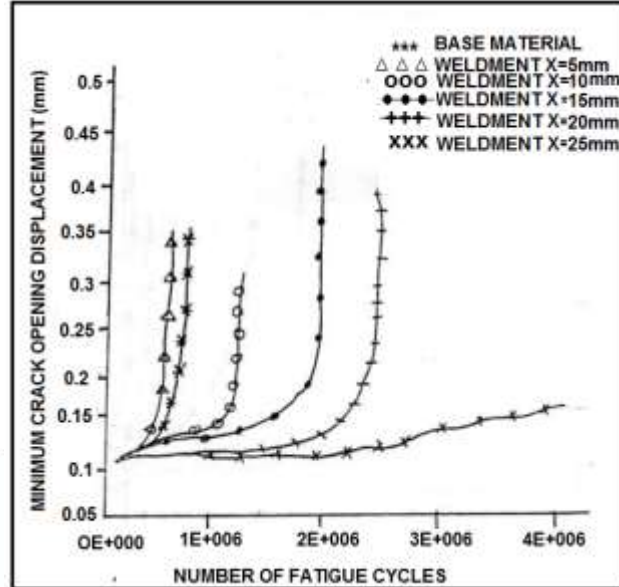
الأستنتاجات :

أ- تحدث أعلى مقاومة لمعدل توغل الفطر الكلاي في العينة التي يكون فيها اللحام على بعد 25mm في حين تقل هذه المقاومة قرب المنطقة المتأثرة

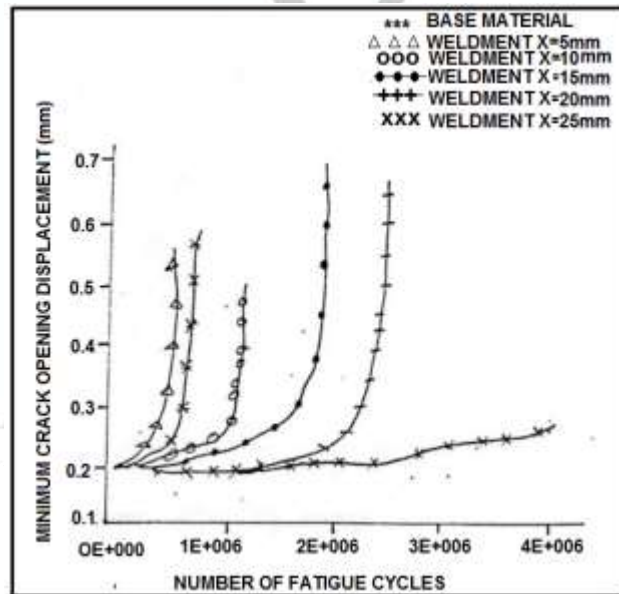
حارياً في العينيات الملحومة على بعد 10mm, 5mm ويحصل أحياناً عرقلة لمعدل توغل الفطر بوجود عيوب لحام بمقياس صغير كما في العينيات الملحومة على بعد 20mm, 15mm .

ب- تؤدي الأجهادات المتبقية الأنضغاطية الى أعاقه توغل الفطر في العينيات المحتوية على عيوب لحام بمقياس صغير وينعدم هذا التأثير بوجود عيوب

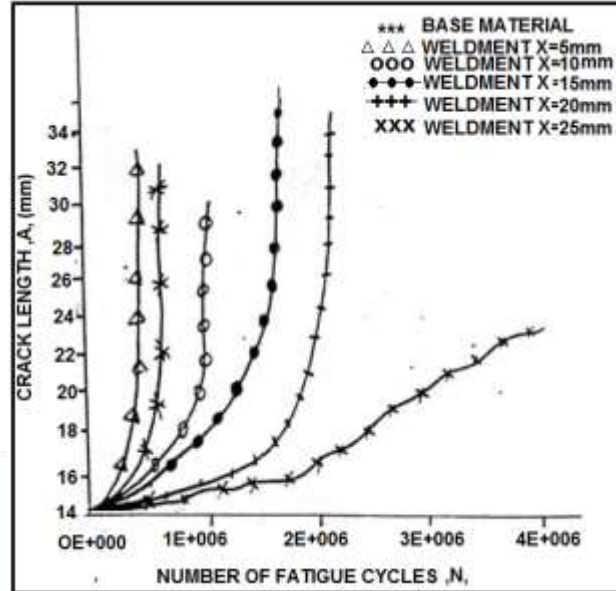
ج- يمكن الأسترشاد من معرفة الفطر وتوغله الى جودة اللحام وكفاءته وتعتبر هذه المعلومة مهمة في التطبيقات العملية .



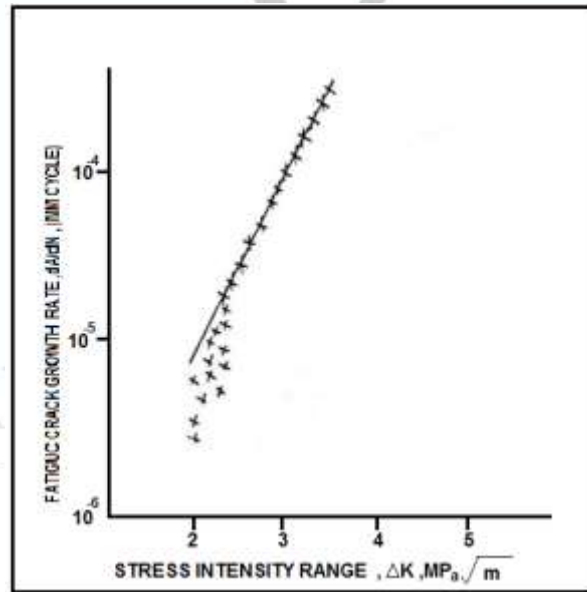
شكل (1) مقارنة بين أزاحة الفطر الدنيا كدالة لعدد دورات الكلال لعينة أساسية مع عينات ملحومة عن ابعاد مختلفة من الحز .



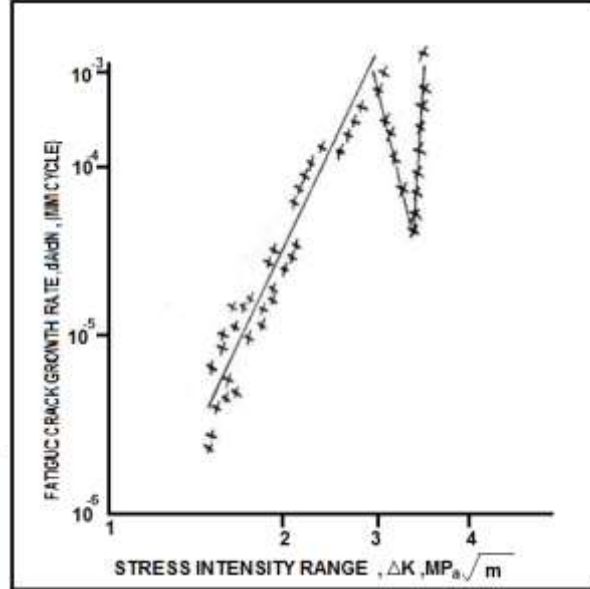
شكل (2) مقارنة بين أزاحة الفطر العظمى كدالة لعدد دورات الكلال لعينة أساسية مع عينات ملحومة عن ابعاد مختلفة من الحز .



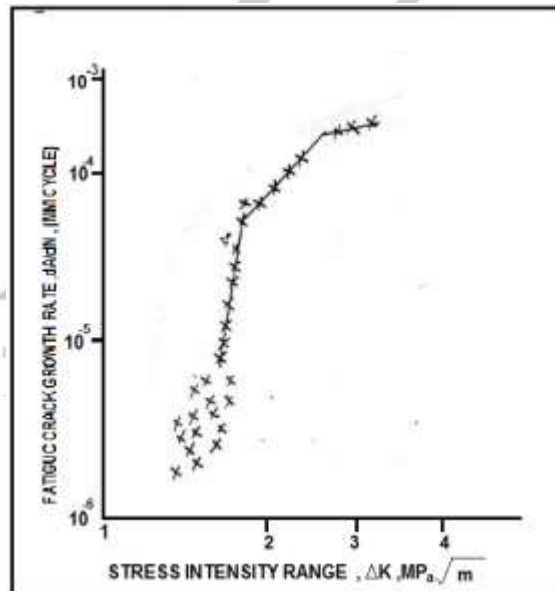
شكل (3) مقارنة بين طول الفطر كدالة لعدد دورات الكلال لعينة اساسية مع عينات ملحومة عن ابعاد مختلفة من الحز .



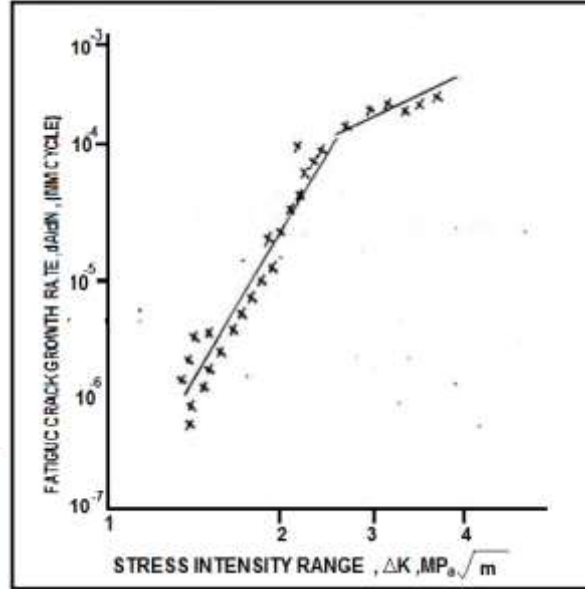
شكل (4) يبين معدل توغل الفطر الكلالي في العينة الاساسية .



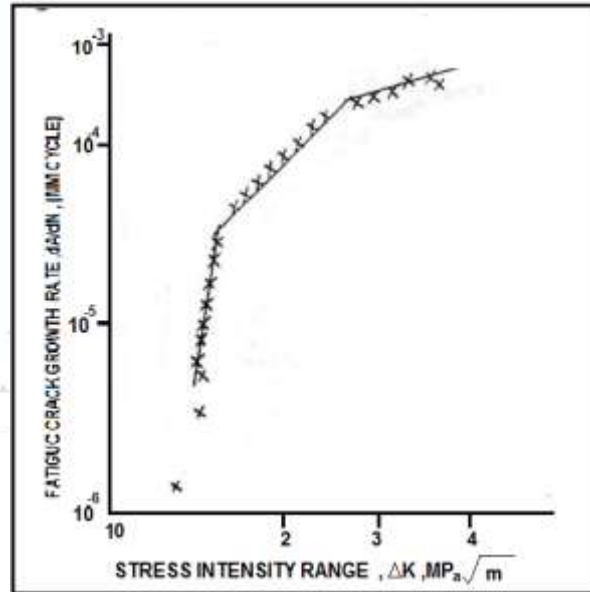
شكل (5) يبين معدل توغل الفطر الكلاسي لعينة ملحومة على بعد 5mm من الحز .



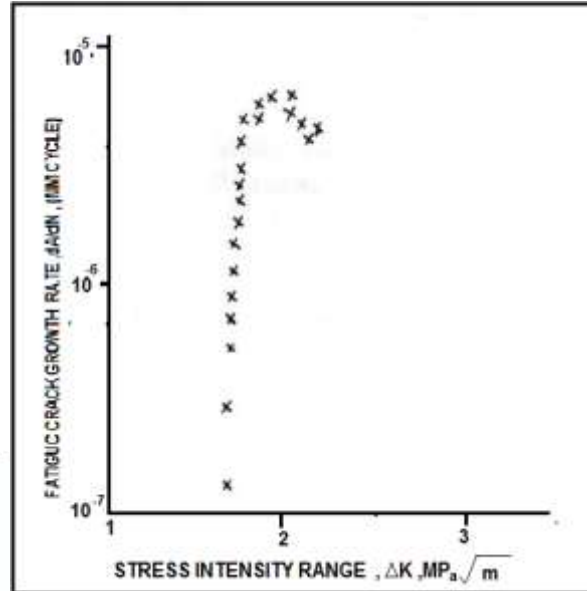
شكل (6) يبين معدل توغل الفطر الكلاسي لعينة ملحومة على بعد 10mm من الحز .



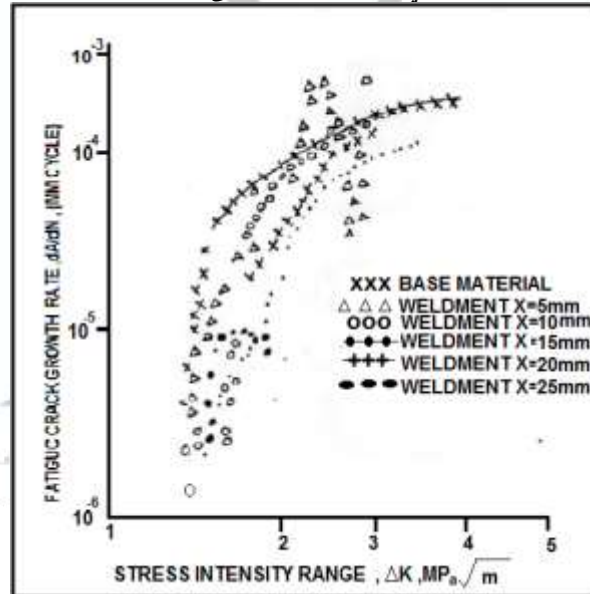
شكل (7) يبين معدل توغل الفطر الكلاسي لعينة ملحومة على بعد 15mm من الحز .



شكل (8) يبين معدل توغل الفطر الكلاسي لعينة ملحومة على بعد 20mm من الحز .



شكل (9) يبين معدل توغل الفطر الكلاي لعينة ملحومة على بعد 25mm من الحز.



شكل (10) مقارنة بين معدل توغل الفطر الكلاي لعينة أساسية مع عينات ملحومة على أبعاد 25,20,15,10,5mm من الحز.

المصادر :

- 1- kocanda. S. Fatigue failure of metals, series on fatigue and fracture, Vol.1. (Warsaw, Sijthe off.and Northe off International Pub. 1978).
- 2- Lair, C. "The influence of metallurgical structure on the mechanisms of fatigue crack propagation" ASTM, STP 415,1967 ,P 131.



- 3- Ostergaurd, D.F., Thomas, J.R. and Hillberry, B.M., "Effect of a increment on calculating (da/dN) from acersus (N) data -fatigue crack growth measurement and data analysis, "ASTM,STP 738. 1981,PP194-204.
- 4-Askeland.Donald R.Pradeep P.Phule "The Science and Engineering of Materials" the d. Brooks /Cole 2003 .
- 5-Paris, P. and Erdogan, F., "A critical analysis of crack propat--ion equation, "Transactions of the ASME, Dec. 1963.
- 6-Chell, G.G., "Fatigue crack growth equation for brittle and ductile materials including the effect of threshold,static mode and elastic plastic deformation". Central electricity researchlaboratories" RD/L/2480/No 83,1983.
- 7-Zheag. X/ "Fatigue crack propagation instead" Engng. Fracture mech. Vol. 18. No. 5 1983.
- 8-Barsom, J.M. "Fatigue considerations for steel bridges,fatigue crack growth and data analysis". ASTM,STP 738, 1981. PP-205-251.
- 9-Mddox, S.J., "Designing against fatigue failure" metal and material, Dec. , 1989.
- 10- Shahinian, P., "Fatigue and creep crack propagation in stainl- ess steel weld metal" welding research supplement, march. 1978, pp 87-5-92-5.
- 11- Masubuchi, K. "Analysis of weldstructure", 1980. Pergaman Press Ltd.
- 12- James, L.A, "The effect of product from upon fatigue crack growth begavior in alloy 718." Transction of ASME, Vol. 103 July 1981.
- 13- Saxena, A. and Hudak, S.J., "Review and extension of compliance information for common crack growth specimen" . Int. Jour. Of fracture. Vol. 14. No.5, Oct. 1978.
- 14- ASTM designation, E 64-88.
- 15- ASTM designation, E 6470775.
- 16- Buackund, J. and macherle, J., stress intensity and crack opening of compact tension speciemens. "Engng. Fracture mech., Vol., 12. 1979.

JOBS



مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science



ISSN 2306-5249

العدد الثالث

٢٠٢١م / ١٤٤٣هـ



مجلة العلوم الأساسية
للعلوم التربوية والنفسية وطرائق التدريس للعلوم الأساسية