دراسة نظرية لنمو شقوق الكلل للنيوبيوم النقي باستخدام معادلة باريس المعمم

د.فاروق إبراهيم حسين
كلية التربية ابن الهيثم قسم الفيزياء جامعة بغداد

الخلاصة

تم في هذا البحث أجراء دراسة نظرية لنمو شقوق الكلل ومدى عامل شدة الإجهاد للنيوبيوم .تمت هذه الدراسة باستخدام قانون باريس المعمم. وتحقيق نظريته التي تربط بين بارامترات باريس C وn التجريبية. حيث تم استعمال قانون باريس البسيط وبمساعدته استخرجنا قيم C وn العملية ومقارنتها مع القيم النظرية التي تم التوصل إليها بقانون باريس المعمم . وتم استخراج قيم da/dN وΔK وذلك باستخدام البرنامج (Get data) لكل مادة ولكل أنموذج ومقارنته بالبيانات التي تم التوصل أليها, تم بناء برنامج حاسوب مكتوب (بلغة الفورتران) الذي يحقق قانون باريس المعمم , الذي تم العمل به طوال البحث. وأيضا تم حساب قيم n وC النظرية . ومن ثم رسم البيانات النظرية والعملية بوساطة برنامج (Graf). والوصول إلى الأشكال المذكورة في البحث .

المفتاح :- نمو شقوق الكلل –النيوبيوم

نمو شقوق الكلل في النيوبيوم

الكلل بشكل عام هو حالة الفشل أو الانهيار الذي يحدث في تركيب المواد نتيجة تعرضها إلى تحميل دوري (Cyclic load) (قوة خارجية دورية) فقد يحدث الانهيار التام على الرغم من عدم وجود ضرر واضح خلال الجزء الأعظم من دورات التحميل والتي لو سلطت هذه الأحمال سكونيا (Statically) لما أدت إلى انهيار المعدن إي وجوب كون الإجهاد أو التحميل الذي ينهار عنده اقل من الإجهاد اللازم لكسر العينة تحت تأثير حمل ثابت .[1,5] ونمو شقوق الكلل (fatigue crack growth)وجد انه دالة لكل من معدل الاجهاد R ومدى شدة الاجهاد المرن (elastic stress intensity range (ΔK

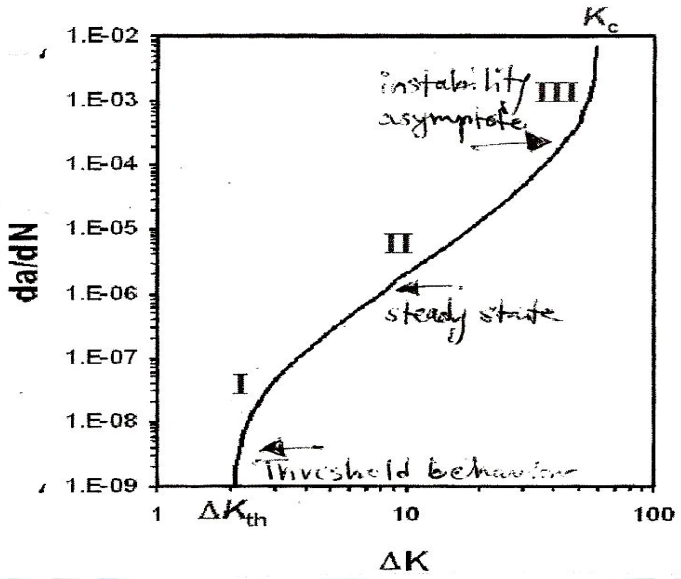
يوصف نمو شقوق الكلل (Fatigue) بالاختلاف في معامل شدة الإجهاد

($\Delta K= K_{max}- K_{min}$) ، وتمثل بيانيا برسم بياني لوغارتيمي – لوغارتيمي لمعدل نمو الشقوق (da/dN) إزاء (ΔK) وكما مبين في الشكل (1) كشكل أنموذجي للمناطق الثلاثة , حيث تؤخذ هذه المناطق لمنحني FCG بنظر الاعتبار لتطوير أنماذج تحليلية لتمثيل بيانات تجريبية ، وبالأرقام الرومانية (Near- Threshod).[2]

• **المنطقة الأولى (Region I):** تمثل منطقة (قرب العتبة) أو(قرب البداية) التي يحصل فيها نمو بطيء جداً للشقوق ولا يحصل فيها نمو تحت قيمة العتبة للقوة الدافعة (المسببة للشقوق) والتي يرمز لها بالرمز (ΔK_{th}).

• **المنطقة الثانية (Region II):** المنطقة الخطية ذات الحالة الثابتة لمنحني نمو الشقوق.

• **المنطقة الثالثة (Region III):** في جزء معدل النمو الأعلى للمنحني يحصل نمو سريع وغير مستقر لكشف عندما يحصل الاقتراب من الكسر النهائي عندما K_{max} تساوي K_e ، مايمثل مساواة الكسر للمادة.



الشكل (1) منحني أنموذجي لنمو شقوق الكلل يبين المناطق الثلاث (I= العتبة)،(II: المنطقة الخطية)، (III: منطقة عدم الاستقرار).[2]

ومع مرور السنين تم تطوير عدد من المعادلات لتمثل جميع اوجزءاً من المدى الانموذجي لبيانات FCG ، وكان ابسطها معادلة باريس التي وردت عام 1963 لتعطي المنطقة الخطية من المنحني.

$$da/dN = C(\Delta K)^n \quad \ldots\ldots(1)$$

حيث أن :

n, C: ثوابت تجريبية constants .

ΔK : معامل شدة الإجهاد (Mpa*m ½). stress intensity factor

da/dN: معدل نمو الشقوق (m/cycle) .Crack growth rate

والنيوبيوم هو احد المواد ذات التركيب المعروف بالمكعب متمركز الجسم ((Body Centered Cubic or (BCC) مقاوم للحرارة (refractory) وهومعدن ابيض يميل الى السمرة يشبه بشكله البلاتين كثافته 8.6 غرام/سم ^{2}) .

ودرجة انصهاره (2400) درجة مئوية وخصائصه جعلته من المواد الصناعية المهمة خصوصا في تركيب المواد المستخدمة في التطبيقات النووية وذلك لكون المقطع العرضي للتفاعل مع النيوترونات الحرارية له واطئة جدا وكذلك مقاومته للكسر والتاكل ويستخدم النيوبيوم في تطبيقات مهمة اخرى كثيرة جدا منها صناعة المغانط الفائقة التوصيل.

تم دراسة نمو شقوق الكلل للنيوبيوم من قبل الباحثين تجريبيا باستخدام معادلة باريس التجريبية اعلاه [1,3]

$da/dN = C(\Delta K)^n$

حيث :-

a:half crack length

$$\Delta K == K_{max} - K_{min}$$

N= no. of cyclic loading , $K_{min} = \alpha S_{min}(a\pi)^{1/2}$, S_{max}, S_{min}=applied stresses

$K_{max} = \alpha S_{max} (\pi a)^{1/2}$

$\alpha = (\sec \pi a/w)^{1/2}$ w=width of the specimen

وتم حساب معدل نمو شقوق الكلل للنيوبيوم كالاتي:-

$da/dN = 7.248 \times 10^{-12} \Delta K^{4.486}$

اي ان :-

C=7.248×10^{-12} **n=4.486**

وهذه الثوابت التجريبية اعتبرت ثوابت مستقلة عن بعضها لاترتبط مع بعضها وعلى العموم ان دراسة شقوق الكلل اعتبر فنا تجريبيا اكثر من كونه علما , ولكن قام باحثون اخرون باثبات ان الثوابت C,n مرتبطان مع بعضها البعض وتم توسيع معادلة باريس وتعميمها عام 2004 من قبل كل من (PUNGO & RUFF) باستخدام ميكانيك الكم للكسروتوصلوا الى معادلة باريس المعممة Generalized Paris Equation والتي تمثل كالاتي:- [4]

$$\frac{da}{dN} = C\left[\Delta K\sqrt{\pi\left(a+\left\{\frac{\Delta K^{k-n}}{C\overline{C}\,\pi^{n/2}(n/2-1)}\right\}^{1/n/2-1}\right)}\right]^{n} \cdots\cdots(2)$$

وبذلك اصبح بالامكان التنبؤ نظريا بنمو شفوق الكلل (FCG) لاي مادة تخضع لاجهادات دورية تتبع معادلة باريس غير المعممة وفي بحثنا الحالي نحاول اثبات امكانية استخدام معادلة باريس المعممة على النيوبيوم والتنبؤ بنمو شقوق الكلل له وذلك باستخدام المعطيات العملية من معادلة باريس الاولية وتطبيقها في معادلة باريس المعممة واستخراج نفس الثوابت (c,n) .

الحسابات والنتائج

النيوبيوم الذي تم اختياره مجهز من قبل موسسه (واه جانك – Wah chang) وكان من النوع ذي الرمز الحراري (501020 CB) وتبين إن الفحوصات التي أجريت على النيوبيوم المختار بالحمل الدوري وبنسبة إجهاد R مقاربة إلى الصفر وبمستويات إجهاد مختلفة ولم يتم تغير الحمل مع تقدم الفحص[3] .

تم إجراء الحسابات لتحديد العلاقة بين معدل نمو شقوق الكلل وشدة الإجهاد المرن .ومن ثم استخراج قيم Cوmثوابت باريس التجريبية من قانون باريس البسيط , حيث تم استعمال المعادلات الآتية لاستخراج قيم Cوn العملية والنظرية : -

$$Log\frac{da}{dN} = Log\left[C(\Delta K)^{]n}\right]\cdots\cdots(3)$$

$$Log\frac{da}{dN} = LogC + nLog(\Delta K)\cdots\cdots(4)$$

$$n = \frac{dLog\,da/dN}{dLog(\Delta K)}\cdots\cdots(5)$$

وكيفية الحصول على بيانات da/dN وΔK العملية كالأتي :-

1. المصادر التي تم استخدامها في هذا البحث هي مستخدمة لقانون باريس البسيط المشار أليه بالمعادلة (1), حيث بمساعدة البرنامج الحاسوبي (Get data) تم استخراج بيانات da/dN وΔK من الأشكال البيانية في المصادر المذكورة .
2. المصادر المشار أليها لاتحتوي قيم n و C العملية حيث تم حسابها باستخدام المعادلات

(2)و(3) والتي تعتبر من وجهة نظر قانون باريس البسيط أنها مفصولة عن بعضها البعض وذلك للاستفادة منها عند حساب n وC النظرية من قانون باريس المعمم الذي يعتبرها مرتبطة مع بعضها البعض وهذا الذي يهدف أليه البحث لغرض المقارنة .

3. تمت كتابة برنامج بلغة الفورتران لحساب معادلة باريس المعممة واستخراج معاملات

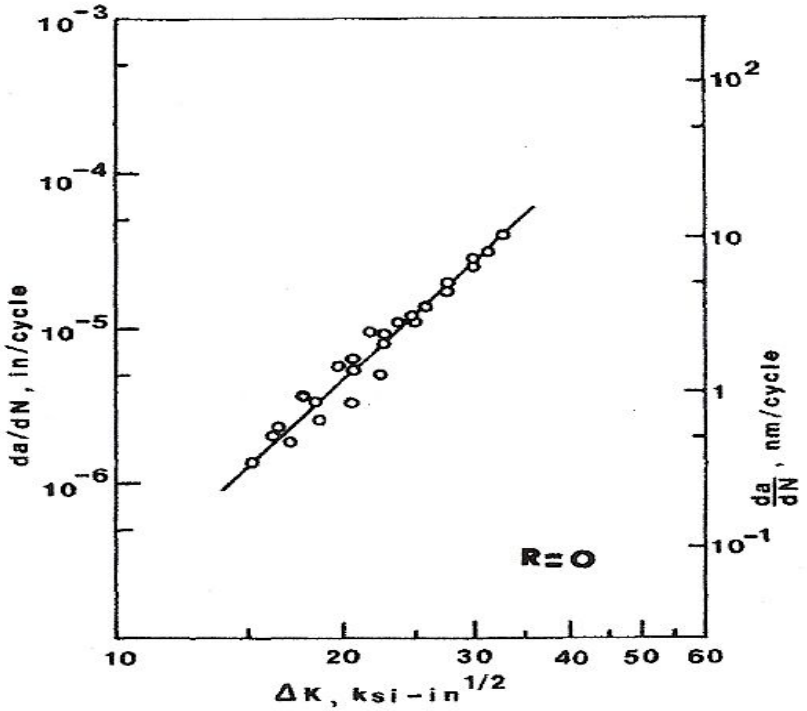
باريس الجديدة من البرنامج والمتمثلة C و n خلال الحصول على قيم جديدة لـda/dN وΔK واثبات إن هذه المعاملات مرتبطة ببعضها وهذا ماتشير إليه معادلة باريس المعممة كما موضحة في المعادلة (5).

4. حيث تم رسم البيانات العملية المستخرجة من (Get data) والبيانات النظرية المحسوبة بوساطة البرنامج الفورتران بشكل بياني بمساعدة البرنامج (Graf) ومنه يمكن ملاحظة الفرق بين القانونين, وفيما يلي جدول يوضح قيم معاملات باريس النظرية والعملية .

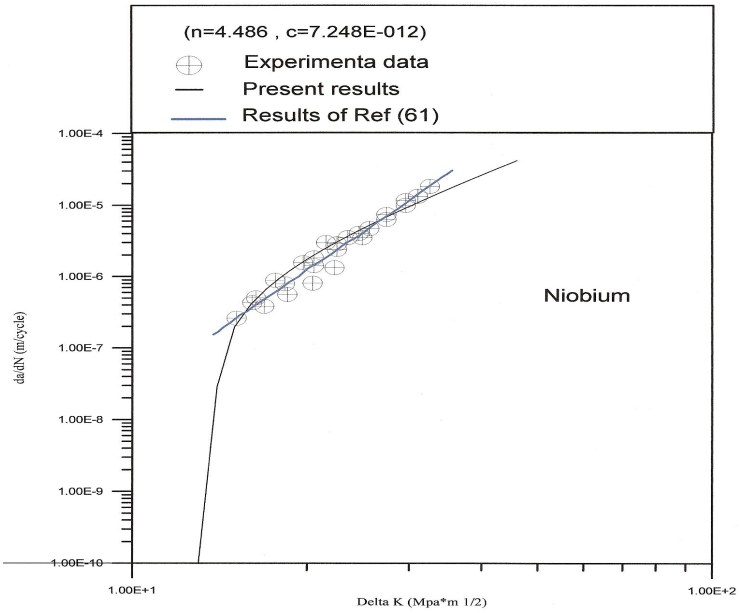
الجدول(1) يوضح قيم n وC لمادة النيوبيوم.

Experimental		Theoretical	
n	C	N	C
4.477	7.256E-012	4.486	7.248E-012

الشكل (2) يوضح نتائج سرعة نمو الشقوق مقابل عامل شدة الإجهاد لمادة النيوبيوم (Niobium) , والتي استخرجنا منها قيم n وC وبعد تعويضها في برنامج الفورتران وحصولنا على النتائج ومن ثم رسم النتائج التي تم الحصول عليها في الشكل (3) .



شكل(2) يوضح معدل نمو شقوق الكلل للنيوبيوم عمليا باستخدام معادلة باريس ومدى شدة الإجهاد لمادة النيوبيوم [3]



شكل(3) نمو شقوق الكلل للنيوبيوم باستخدام معادلة باريس المعممة نظريا وعامل شدة الجهاد

المناقشة

بصورة عامة من البيانات التي تم الحصول عليها من الأدبيات ومن الحسابات التي توصلنا إليها تم إنشاء منحنى (S-N) , حيث يمثل محور (y-axis) معدل نمو الشقوق والمتمثل بـ da/dN , ومحور (x-axis) فيمثل شدة الإجهاد المتمثل بـ ΔK وللمواد المختارة كافة . ومن خلال معرفتنا إلى صفات النيوبيوم , حيث هذه الصفات كلها تدل على أن عمر المنطقة الثانية (منطقة النمو المنتظم للشقوق) فيه قصير جدا لان هذه المنطقة تعتمد على مقاومة المعدن للدونة . إي نستنتج أنها تصل إلى مرحلة الفشل بسرعة ولوحظ أن معدلات نمو شقوق الكلل ترتبط بمعامل شدة الإجهاد من خلال معادلتي باريس(1) و(2) . وبالنسبة إلى النيوبيوم المستعمل أجريت عليه الفحوصات تحت حمل دوري منتظم , وان جميع القيم تدل على علاقة قوة نمو الشقوق بالكلل.

الاستنتاجات

1- وجد إن الثوابت التجريبية لباريس Cوn ترتبط بعضها ببعض حيث كلما زادت C تزداد n وبالعكس , بالنسبة لجميع المواد المختارة .

2- أن الزيادة في نسبة الإجهاد تؤدي إلى زيادة في معدلات نمو الشقوق وكذلك زيادة في عامل شدة الإجهاد .

المصادر

1. 1-ASTM, Annual Book of ASTM Standard Die-Cast Metals ; Aluminum and Magnesium Alloys (nonferrous metal products) section 2 ,vol 0202,pag 291 , 1985
2. Brown E.N.,White S.R. ,Sottos N.R., " Fatigue Crack Propagation in Microcapsule-Toughened Epoxy" , J.Matter,Sci .(2006) ,41,6266-6273
3. Dubensky .R.G.Proc.Okla. " Fatigue Crack Propagation in pure Niobium " Acad .Sci 56;108-109 (1976)
4. Camarilla M., Pungo N. , Ciavarella M. , Cornetti P. " A generalized Paris law for fatigue crack growth " Journal of the Mechanics and Physics of solids , 54(2006) 1333-1349
5. Hellan Kare " Introduction to Fracture mechanics " Mc Graw- Hill Co., Singapora , 1985

THEORITICA STUDY OF FATIGUE CRACK GROWTH (FCG) FOR PURE NIOBIUM BY USING GENERELIZED PARIS EQUATION

Dr.FAROUQ I.HUSSAIN

Dep. Of physics college of Education IBN-ALHAITHAM

Abstract

A theoretical study was done in this work for Fatigue . Fatigue Crack Growth (FCG) and stress factor intensity range for Niobium.

It also includes Generalized Paris Equation and the Fulfillment of his equation which promise that there is a relation between parameters c and n.

used Simple Paris Equation through which we concluded the practical values of c and n and compared them with the theoretical values which have been concluded by Generalized Paris Equation .

The value of da/dN and ΔK for every material and sample were concluded and compared with the data which was used in the computer program for the whole of our research .

The program is written in Fortran . The theoretical and practical data was drawn with (Graf) program so as to conclude the data mentioned in the research .

Keyword: fatigue crack growth- Niobium