تخمين أعمار كلال الأجزاء باستخدام نموذج رياضي مقترح

د.حسين جاسم العلكاوي*، عمر صفاء طه ألنعيمي** و صباح نوري العزاوي*

تاريخ التقديم: 2010/2/16
تاريخ القبول:2010/6/3

الخلاصة

في هذا البحث تمت دراسة ظاهرة الكلال لسبيكة الألمنيوم ذات الرمـــز (2024 - T3) تحت اجهادات ثابتة ومتغيرة السعة. الحمل المسلط من نوع الانحناء الدوار ومقطع العينة دائري بقطر(6.76) ملم جميع الفحوصات العملية تمت تحت نسبة إجهاد R = - 1 ودرجة حـــرارة الغرفة .اتسم البحث الحالي بجانبين النظري والعملي.

الجانب العملي يتألف من إجراء فحوصات على عينات تحت اجهادات ثابتة السعة للوصول إلى منحني العمر لهذه السبيكة والمجموعة الثانية شملت إجراء تجارب على عينات متغيرة السعة من واطئ إلى عالي ومن عالي إلى واطئ وذلك لدراسة تأثيرات تتابع الإجهاد والضرر المتراكم.

إما الجانب النظري فاتسم بدراسة البحوث السابقة بشكل موجز وبناء نموذج رياضي نظـــري يعتمد على تغيير الإجهاد السلمي معتمدين على نظريات سابقة اخذين بنظر الاعتبار الاجهادات الواطئة والعالية وحتى اكبر من أجهاد الخضوع هذا النموذج سمي نموذج مرونة - لدونه لتقييم الأعمار للأجزاء ،كذلك تمت دراسة نظريتين بالتفصيل وهي نظرية ماينر الخطية ونظرية نمو الشقوق المرنة. لغرض معرفة التطبيقات العملية لهذه النظريات ومقارنتها مع النموذج المقترح وقد تم إجراء المقارنة معتمدين على النتائج العملية حيث كانت أســـاس المقارنـــة واتضـــح إن النظريتين كانتا أمينتين وبعيدتين مقارنة من حيث الأمان مع الجانب العملي إما النموذج المقترح فهو اقرب إلى النتائج العملية مقارنة مع النظريتين السابقتين.

الكلمات المرشدة : عمر الكلال ، سبائك الألمنيوم ، نموذج رياضي

Estimation of Fatigue Life Components By Proposed Mathematical Model

Abstract

In this study the fatigue behavior of an aluminum alloy designated 2024– T3 under constant and variable amplitude of stresses is considered. The applied load adopted is a rotating bending one, the cross Section of the laboratory samples is circular with a diameter of (6.74mm). All tests were carried out under a stress ratio of R = - 1 and at room temperature condition. The study consists of two parts experimental and theoretical. The experimental part includes carrying out laboratory tests on two groups of specimens the first group was tested under constant stress amplitude to establish the S-N curve of the specimen's material, while the second group was tested under variable amplitude of stress to assess the effects of the accumulated fatigue damage. The theoretical part of the study includes a review of previous literature adopted to derive a theoretical and mathematical model depending upon the variation of the stresses obtainedby some previous theories, taking into consideration low and high stress levels, and even post yield.

* قسم الهندسة الكهروميكانيكية ، الجامعة التكنولوجية / بغداد
** قسم هندسة المكائن والمعدات ، الجامعة التكنولوجية / بغداد

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

The derived model is denoted as elastic-plastic model for the evaluation of life time of machinery parts. The linear theory of Miner and the theory of Elastic Cracks Propagation are also studied throughout the theoretical part of the study.

In order to assess the capability of the two theories with the derived model: a comparison is held between the experimented results and the results obtained by applying the two theories.

It is noted that results obtained by applying the two theories are lower (underestimates) than those obtained from the experimental study and that results obtained by the suggested derived model are in better agreement than those obtained by the two theories.

Keywords: Fatigue life; Aluminum alloy; Mathematical model

المقدمة

تعد ظاهرة فشل الأجزاء الهندسية تحت تأثير الكلال من المسائل الجديرة بالاهتمام والدراسة بشكل مستمر ولذلك فان دراسة ظاهرة الكلال (Fatigue) (وهو الانهيار الذي يحصل للمعدن بسب تعرضه إلى اجهادات دورية وقد تكون متناوبة (Alternating) أو متكررة (Repeating) أو منقلبة (Reversed) وربما يأخذ تكرار الإجهاد (شكل شد أو حتى ضغط)) وهي من أهم الظواهر لأنها أكثر حدوثا والأكثر خطورة ولأنها تحصل في البداية بدون تشوهات ظاهرية في منطقة الكسر وتنمو لحين حصول الكسر الكامل وبشكل مفاجئ.

وان استخراج حد الكلال عامل مهم كونه يحدد الحمل المسلط المسموح به دون حدوث الفشل على المادة إذ يعرف بشكل مبسط بأنه احد الاجهادات الدورية المسلطة التي تحتها لا يمكن إن يحدث الكسر أو الفشل, ولهذا أجريت العديد من المحاولات برفع كفاءة الأداء للمعادن التي تصنع منها الأجزاء الهندسية بزيادة مقاومتها للكلال وإجراء تحسين لخواصها.

وعلى هذا الأساس فقد اتجهت دراستنا الحالية إلى استخدام نموذج رياضي نظري يعتمد على نظرية المرونة اللدونه لغرض تقييم أمثل لتخمين أعمار الأجزاء معتمدين بعض الفرضيات ومنها إن قيم الضرر المتراكم لا تساوي واحد بل تعتمد على القيمة العملية المستخرجة.

البحوث السابقه

الباحث (العلكاوي) في سنة (1991) درس ظاهرة الكلال لسبيكة الألمنيوم ذات الرمز (2124 -T351) باستخدام الانحناء وتم بناء نموذج رياضي لوصف حركة الشقوق القصيرة والطويلة واثبت النموذج كفاءة جيدة لأنه أعطى نتائج أمينة [1].

و(العلكاوي) في سنة (1993) قام بدراسة تأثير الحزوز والتآكل الكيماوي على سلوك كلال سبيكة الالمنيوم ذات الرمز (2024 -T4) . واشتقاق نماذج رياضية لكلا الحالتين وتوصل إلى إن تأثير الحزوز والتآكل الكيماوي أدى إلى التقليل من عمر الأجزاء بشكل كبير جداً [2].

و(عبد اللطيف) في سنة (1994) درس سلوك كلال سبيكة الألمنيوم ذات الرمز (2024-T4), تحت تأثير الأحمال المركبة,من نوع (التواء – انحناء) (Bending - Torsion) وتوصل إلى نموذج رياضي يتنبأ بنمو الشقوق وتقدمها

$$N_f = \int_{a_0}^{a_f} \frac{d\alpha}{\frac{0.139}{\alpha\mu E.\mu\sigma_y}(\mu\Delta K_I - \mu\Delta K_{th})^2 \frac{1}{1-\left(\frac{K_{max}}{\mu\Delta K_{IC}}\right)^2}}$$

واستخدم النموذج في تخمين أعمار الأجزاء وكانت التخمينات أمينة واقتصادية [3].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

و(Sallman) في سنة (1995) درس تأثير متوسط الإجهاد (mean stress) على كلال الأحمال المركبة لسبيكة الألمنيوم ذات الرمز(2024-T4) واستنتج انه كلما زاد متوسط الإجهاد (σm) قلت أعمار الأجزاء [4].

و(Ahmed Ali Hussien) في سنة (1997) قام باختبار ثلاث معادن (فولاذ, براص,ألمنيوم) تحت تأثير الحمل المركب (انحناء مع التواء) ودرس تأثير التآكل الكيمياوي (corrosion) في الماء المالح على هذه المعادن ووجد ان العمر يقل بنسبة (36% للألمنيوم و42% للبراص و56% للفولاذ) [5].

إما الباحث (فيصل) في سنة (2002) فقام بدراسة تأثير القذف بالكريات المعدنية على بعض سبائك الألمنيوم لمعرفة سلوك الكلال وتم استخراج منحنيات العمر لهذه السبائك مع التصليد وبدونه وتوصل إلى إن القذف بالكريات يؤدي إلى نقصان في الأعمار بسبب الكلال في السبائك 1100 و5052 وهذا يعود إلى الاجهادات الموضعية العالية نتيجة خشونة السطح بينما السبيكة 2024 فالتأثير كان معاكساً إذ زادت الأعمار 50% نتيجة لتكوين اجهادات متبقية ضغطية [6].

وقام الباحث (الصراف) في سنة (2003) بدراسة ظاهرة التعرية الكلالية التي تتعرض لها الأجزاء والمركبات في الأجهزة والمعدات وتوصل إلى بناء نموذجين رياضيين يستطيع كل منهما إن يتنبأ بالعمر الكلالي للمعادن في ظروف هذه الظاهرة النموذج الأول بني على مبدأ الضرر المتراكم للمادة. إما النموذج الثاني فقد اعتمد على سرعة نمو الشقوق الكلالية القصيرة والطويلة التي يتناسب طردياً مع الصدمة الناتجة من سطح المادة بتأثير قطرات نافورة الماء [7].

وإما الباحثة (العمران) في سنة (2003) قامت بدراسة تحسين مقاومة الكلال لمعدن الفولاذ ألسبائكي من نوع (42 CrMo04) بواسطة إجراء عملية (النتردة) بنوعيها السائلة والغازية على أعمار الكلال لفولاذ سبائكي متوسط الكاربون ومقارنتها مع تأثير المعاملة الحرارية الايزوثورمية وظاهرة Coaxing على مقاومة الكلال وتوصلت الدراسة إلى وضع نموذج رياضي لتخمين أعمار الكلال وإعطاء الزمن الأمثل للاستخدام والعمر الأمين للأجزاء المعدنية الهندسية المصنعة معتمدة على منحني (S.N) للمعدن [8].

والباحث (محمد) في سنة (2003) قام بدراسة سلوك الكلال لقشرة جسيم الطائرة تحت تأثير اجهادات انحناء واجهادات ثابتة ومتغيرة السعة. وتم حساب الاجهادات الهوائية من نوع (انحناء فقط) والاجهادات المركبة (انحناء والتواء) وتم بناء نموذج مقترح وتم مقارنتها مع بعض النتائج والبحوث الأخرى[9].

الباحث (N.Gao) وجماعته في سنة (2005) قام بدراسة نمو الشقوق الصغيرة والكبيرة وبيان تصرف هذه الشقوق تحت ظاهرتي الكلال والزحف حيث تبين ان هذه الشقوق تتسارع بالنمو في حالة وجود التداخل في هاتين الظاهرتين مقارنة مع ظاهرة الكلال لوحدها وان هذا التسارع يؤدي الى انخفاض في اعمار الكلال بشكل ملحوظ [10] .

الباحث (براكاش) وجماعته في سنة (2007) توصلوا الى نموذج رياضي يعطي تخمين جيد لاعمار الاجزاء المعرضة للكلال معتمدا على المواصفات الميكانيكية للمادة حيث تم تطبيق هذا النموذج على عينات من سبائك الالمنيوم والنحاس والفولاذ والتيتانيوم واعطت نتائج امينة ومرضية من حيث التصميم واعمار الاجزاء ويتلخص هذا النموذج بالصيغة التالية:

Nf =Failure Fatigue life ,cycles

a_f= Final crack length , mm

a_0= Initial crack length , mm

da=Increment in crack length, mm

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

μ =Population mean of variable

σ_y – yield strength MPa

K_{th} = threshold stress intensity factor

K_I– Stress intensity factor in mode 1 MPa$\sqrt{m}$

K_{max}=Maximum stress intensity factor MPa$\sqrt{m}$

ΔK= Stress intensity factor range MPa$\sqrt{m}$

α= Material constant

ΔK_{IC} = Critical stress intensity range MPa$\sqrt{m}$

E = Modulus of elastiaty GPa

وكان التنبأ بأعمار الأجزاء باستخدام النموذج أعلاه (معادلة (1)) جيد وأمين [11].

الباحث (Liljedahl) وجماعته في سنة (2007) توصلوا إلى حساب معدل نمو الشقوق عن طريق بناء نموذج رياضي يعطي تخمين جيد لأعمار الأجزاء المعرضة للكلال معتمدا على حساب الاجهادات المتبقية حيث استخدم تقنية لحام قوس البلازما وقد تم تطبيق هذا النموذج على سبيكة الألمنيوم 2024-T3 وقد أعطت نتائج أمينة ومرضية من حيث التصميم وأعمار الأجزاء ويتلخص هذا النموذج بالصيغة التالية :[12].

n,p,q, وf هي معلمات المواد المختبرة (ثوابت تستخرج عملياً)

R نسبة الإجهاد

$$\frac{da}{dN} = \left[C\left(\frac{1-f}{1-R}\right)\Delta K\right]^{n} \frac{\left(1-\frac{\Delta K_{th}}{\Delta K}\right)^{p}}{\left(1-\frac{K_{max}}{K_{IC}}\right)^{q}}$$

الباحث (Justin وAbdallah) في سنة (2008) درسا سلوك المواد الفائقة التوصيلية الكهربائية عند تعرضها إلى اجهادات مختلفة وكما يحصل في التطبيقات ذات الأحمال المتغيرة وفي التطبيقات ذات الدرجات الحرارية العالية وذات دورات التحميل المختلفة ووجدا إن عملية الطلاء بواسطة (Y-Ba-Cu-O/Hastelloy-C) وعند درجة حرارة 77 كلفن تعمل على تقليل الفشل الكلالي وتم التوصل إلى نموذج رياضي يعتمد على النتائج العملية لتخمين أعمار المواد الفائقة [13].

الباحث (Huifeng) وجماعتة في سنة (2008) ايضا توصلوا الى بناء نموذج رياضي يعتمد على النتائج العملية لعملية تداخل ظاهرتي الكلال والزحف Fatigue-creep interaction حيث استخدم هذا النموذج لتخمين اعمار الكلال تحت حالة السيطرة على الاجهاد واعطى نتائج جيدة جدا لمعادن حديدية ولا حديدية [14].

الباحث (Rahman) وجماعته في سنة (2009) درسوا تصرف عمر ذراع التعليق السفلي باستخدام نموذج تخمين العمر الانفعالي .واختيار المواد الملائمة لهذا الذراع حيث تم استخدام طريقة العناصر المحددة لتقييم نجاح النموذج المقترح وتوصلت الدراسة إلى نجاح النموذج المقترح بتخمين عمر الذراع بأمان وافصل معدن ملائم لهذا الذراع كان سبيكة الألمنيوم ذات الرمز 7075-T6 [15].

بناء النموذج الرياضي المقترح

zلغرض بناء نموذج رياضي يتنبأ في حساب عمر خدمة المعدن نبدأ أولا في حساب مجموع الضرر التراكمي Cumulative damage summation للمعدن وذلك عن طريق حساب الضرر التراكمي له خلال برنامج واحد (One program) من الإجهاد المتغير (عالي-واطئ) أو (واطئ-عالي) ومن خلال معرفة عدد تكرارات برنامج التحميل يمكن حساب الضرر المتراكم الكلي لكل عينة اخذين بنظر الاعتبار الضرر التراكمي الناتج عن كل دورة من دورات التحميل كما في الشكل (1) حالة الإجهاد الخطي المتزايد للمعدن مع منحني الإجهاد-عدد الدورات منحني (S-N) له وقد تم الاستفادة من كل من الباحثين (براكاش) [10]والباحث (Liljedahl

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

([11]) في بناء هذا النموذج حيث تم الانطلاق من المعادلتين التي فرضاها هذان الباحثان والموضحتان سابقا في بناء النموذج الحالي ومنه يمكن التعبير عن الضرر المتراكم بالمعادلة الآتية:

$$\sum\left[\frac{n}{N_f}\right]_i = \frac{n_1}{N_{f1}} + \frac{n_2}{N_{f2}} + \cdots \quad \ldots(1)$$

$i = 1, 2, 3, N$ هي دوره واحدة

وبشكل أكثر عموما

$$\sum\left(\frac{n}{N_f}\right)_i = \int_{\sigma_L}^{\sigma_H} \frac{1}{N_{fi}} dx_i \quad \ldots(2)$$

σ_L = حد الإجهاد الأدنى المستعمل في الاختبار للبرنامج الواحد

σ_H = حد الإجهاد الأعلى المستعمل في الاختبار للبرنامج الواحد

Nfi = عمر الكلال المناظر للاجهاد σi

ومن اعتبارات الميل الموجودة في الشكل (1) فان

$$X_i = \frac{N_{fB}(\sigma_i + \sigma_L)}{(\sigma_H + \sigma_L)} \quad \ldots(3)$$

حيث ان NfB = عدد دورات فشل المعدن في النموذج وباشتقاق المعادلة (3) والتعويض في (2) نحصل على

$$\sum = \left[\frac{n}{N_f}\right]_i = \int_{\sigma_L}^{\sigma_H} \left(\frac{1}{N_{fl}}\right) \frac{N_{fB} d\sigma_i}{(\sigma_H - \sigma_L)} \quad (4)$$

حيث إن (α) هو معدل زيادة الإجهاد Rate of increase of stress

وهو العامل المسيطر على متغير الاختبار (Test variable) والذي يساوي :

$$\frac{\sigma_H - \sigma_L}{N_{fb}}$$

لذا (4) يمكن اختصارها بالشكل الأتي فان

$$\sum\left(\frac{n}{N_f}\right)_i = \frac{1}{\alpha}\int_{\sigma_L}^{\sigma_H} \frac{1}{N_{fi}} d\sigma_i \quad \ldots(5)$$

وباعتبار إن الاختبار يشتمل على الحزوز لذا يظهر تاثير عامل كلال الحزوز (Kf) كعامل أساسي في التأثير على عمر المعدن حيث يزداد عمر المعدن بنقصانه ويقل بزيادته . لذا يدخل عامل كلال الحزوز في المعادلة أعلاه عن طريق ضربه في مقدار التكامل ، علما إن عامل كلال الحزوز يمكن حسابه من جداول خاصة وعن طريق المعادلة الآتية :

$$K_f = 1 + q(k_t - 1) \quad \ldots(6)$$

q: هي حساسية الحز

Kt: عامل تركيز الإجهاد النظري

فتكون المعادلة (5) بعد ضربها في المعادلة (6) بالصيغة الاتية:

$$\sum\left(\frac{n}{N_f}\right)_i = \frac{1}{\alpha}\int_{\sigma_L}^{\sigma_H} \frac{1}{N_{fi}} d\sigma_i k_f \quad \ldots(7)$$

فعند وجود معادلة منحني (S-N) للمعدن الذي اجريت علية الاختبارات.من الممكن اجراء عملية التكامل للمعادلة (7) والتوصل إلى حساب الضرر التراكمي المطلوب للمعدن ولمقدار برنامج واحد من منحني الإجهاد المتغير له مع عدد الدورات، وكون إن معادلة منحني الإجهاد الثابتة – عدد الدورات للألمنيوم (S-N)Curve المستخدم في الاختبار هي:

$$\sigma_f = 526 N_f^{-0.088} \quad \ldots(8)$$

فقد تم استخدام أسلوب تحليل الانحسار الخطي لإيجاد أفضل معادلة تمر من خلال النقاط العملية.

في المعادلة (7)عند التعويض عن (8) وجعل المعادلة تساوي (D) حيث ان (D) تمثل الضرر المتراكم الكلي، واجراء التكامل عليها والتعويض عن (α)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

بالمقدار التالي

$$\alpha = \frac{\sigma_H - \sigma_L}{N_{fB}}$$

يمكن الحصول على قيمة (*NBf*) وهي تمثل عدد الدورات عند الفشل للعينة أو

المعدن حسب النموذج المقترح وكما يلي:-

$$\sum\left(\frac{n}{N_f}\right)_i = \frac{N_{fB}}{(\sigma_H - \sigma_L)}\int_{\sigma_L}^{\sigma_H}\frac{d\sigma_i K_f}{\left(\frac{\sigma_f}{526}\right)^{\frac{1}{-0.088}}}$$

(9)

$$\sum\left(\frac{n}{N_f}\right)_i = \frac{N_{fB}K_f}{(\sigma_H - \sigma_L)\left(\frac{1}{526}\right)^{\frac{1}{-0.088}}}\int_{\sigma_L}^{\sigma_H}\frac{d\sigma_i}{(\sigma_f)^{\frac{1}{-0.088}}}$$

$$D = \frac{N_{fB}K_f}{(\sigma_H - \sigma_L)(0.0019)^{-11.363}}\int_{\sigma_L}^{\sigma_H}\frac{d\sigma_i}{(\sigma_f)^{-11.363}}$$

$$D = \frac{(0.0019)^{11.363}N_{fB}K_f}{(\sigma_H - \sigma_L)}\int_{\sigma_L}^{\sigma_H}(\sigma_f)^{11.363}d\sigma_i$$

$$D = \frac{(0.0019)^{11.363}N_{fB}K_f}{(\sigma_H - \sigma_L)12.363}\int_{\sigma_L}^{\sigma_H}\left[\sigma^{12.363}\right]_{\sigma_L}^{\sigma_H}$$

$$D = \frac{1.19\times10^{-31}N_{fB}K_f}{12.363(\sigma_H - \sigma_L)}\left(\sigma_H^{12.363} - \sigma_L^{12.363}\right)$$

$$D = \frac{9.625\times10^{-33}N_{fB}}{(\sigma_H - \sigma_L)}\left(\sigma_H^{12.363} - \sigma_L^{12.363}\right)\times k_f$$

$$(\sigma_H - \sigma_L)D = N_{fB}\times 9.625\times10^{-33}\left(\sigma_H^{12.363} - \sigma_L^{12.363}\right)\times k_f$$

$$N_{fB} = \frac{2\times(\sigma_H - \sigma_L)\times D}{9.625\times10^{-33}\left(\sigma_H^{12.363} - \sigma_L^{12.363}\right)\times K_f} \quad \ldots(10)$$

ضربت المعادلة في (2) لتمثل مرحلة الصعود والنزول للبرنامج الواحد أو بالعكس.

نظرية ماينر [16]

لا تزال هذه النظرية تطبق بشكل واسع حتى ألان لبساطتها وسهولة تطبيقها ولان النظريات الأكثر تعقيدا منها لا تعطي دائما نتائج أدق وأكثر موثوقية منها .

تنص هذه النظرية على إن جزء الضرر (D) عند أي مستوي من الإجهاد (σ) هو عبارة عن تناسب خطي بين عدد الدورات عند ذلك المستوي من الإجهاد ونسبة الضرر (n_i) إلى عدد الدورات الكلي للفشل (N_i) عند نفس مستوي الإجهاد إي إن:

$$D_i = \frac{n_i}{N_i} \quad \ldots(11)$$

وتنبأت النظرية إن حدوث الفشل عندما يكون مجموع الضرر للأجزاء عند مستويات إجهاد مختلفة يساوي (1) إي أن :

D1+D2+….+Di-1+Di=1 … (12)

وبذلك يمكن تعويض المعادلة (11) في المعادلة (12) فينتج

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \cdots + \frac{n_{i-1}}{N_{i-1}} + \frac{n_k}{N_K} = 1 \quad \ldots(13)$$

كما يمكن كتابة المعادلة بالشكل الأتي:

$$\sum_{i=1}^{i=K}\frac{n_i}{N_i} - 1 \quad \ldots(14)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

حيث أن k عدد مستويات الإجهاد المتغير في متوالية برنامج التحميل.

i مستوي أجهاد معين في برنامج التحميل.

n_i عدد الدورات عند مستوي إجهاد معين

N_i عدد الدورات المؤدية للفشل عند نفس الإجهاد.

مناقشة نظرية ماينر[17]

أعطت هذه النظرية تخمينا أمينا جدا والسبب يعود إلى إن هذه النظرية لا تأخذ بنظر الاعتبار الأمور الآتية.

1- لا تأخذ بنظر الاعتبار تتابع الاجهادات.

2- لا تأخذ بنظر الاعتبار الاجهادات (القريبة أو الأقل) من حد الكلال وتعدها اجهادات لا تعمل إي ضرر في المعدن.

3- أن هذه النظرية تبين إن مجموع الضرر D يساوي 1 بينما النتائج العملية أعطت D متغير بتغير الحالة اقل أو اكثر من واحد.

نظرية نمو الشقوق المرنة [18]

تمثل هذه النظرية دراسة الشقوق الصغيرة والمتمثلة هنا بالشقوق من بدايتها إلى الحجم الحبيبي (Grain size) والشقوق الطويلة وتشمل طول الشق من القطر الحبيبي إلى حد الفشل وهنا يعرف الفشل بأنه قطر العينة وتم التوصل إلى المعادلتين الآتيتين:

$$N_s = \frac{D^{3.4}}{3.4 \times 46134\sigma^{-1}} \quad .....(15)$$

$$N_L = \frac{\ln\alpha_f - \ln D}{4.73 \times 10^{-24} \times \sigma^{11.88}} \quad .....(16)$$

$$N_T = N_L + N_S \quad ....(17)$$

حيث إن :

N_S : عمر الشقوق الصغيرة

N_L :عمر الشقوق الطويلة

N_T : العمر الكلي للشقوق (عمر الجزء المراد تخمينه)

α_f: قطر العينة ويساوي 400µm ويمثل طول الشق النهائي للمعدن المستخدم في هذا البحث

D : قطر الحجم الحبيبي ويساوي µm 150

مناقشة نظرية نمو الشقوق المرنة [9]

النظرية المستخدمة حاليا في كثير من البحوث أعطت نتائج تخمينية جيدة ولكن غالبا ما يأخذ الباحثين اجهادات اقل من إجهاد الخضوع وذلك لكي يتسنى للشقوق إن تنمو بشكل بطئ لغرض قياسها وتحديد أعمارها إما إذا كانت الاجهادات أعلى من إجهاد الخضوع فلا يوجد هنالك متسع من الوقت لقياس الشقوق قد يظهر الشق وبعد فترة عدد من الدورات القليلة يصل إلى حجم كبير يحول دون السيطرة عليه.

الأنموذج الحالي

تم الاعتماد في أنموذجنا الحالي على ان الاجهادات تأخذ الحالة التتابعية وكذلك أيضا أخذنا بنظر الاعتبار الاجهادات فوق إجهاد الخضوع للمعدن.

والأسباب التي أدت إلى إن يعطي النموذج الحالي نتائج اقرب للنظريتين السابقتين هي:

1- اخذ الأنموذج الحالي الاجهادات الواطئة القريبة من حد الكلال.

2- العملية التتابعية لتغير الإجهاد أخذت بشكل سلمي.

3- الاجهادات فوق إجهاد الخضوع أخذت بنظر الاعتبار وتم تكامل المعادلة بجزأين وهذا أدى إلى التوصل إلى تخمين أمين وقريب إلى الجانب العملي مقارنة مع النظريتين السابقتين . الجدول رقم (1) يوضح النتائج التي تم التوصل إليها والشكل رقم (2) يوضح رسم لمنحني النتائج.

يتضح من الشكل رقم (2) إن جميع التخمينات للطرق التي ذكرت سابقا أمينة ولكن اقرب هذه الطرق هو تخمينات النموذج المقترح حيث إن طريقة ماينر وطريقة نمو الشقوق أعطتا نتائج أمينة ولكنها بعيدة عن العملي بشكل واضح .

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

يتطلب من أي نموذج أو طريقة تخمينية إن تكون أمينة واقتصادية بنفس الوقت فالنموذج المقترح حصل على هذه الخاصية أما الطرق الأخرى فكانت أمينة جدا ولكنها غير اقتصادية.

الاستنتاجات

1- تم التوصل نظريا إلى نموذج رياضي يخمن العمر الأمين للعينات التي حملت باجهادات متغيرة السعة وهذا النموذج أعطى نتائج قريبة من النتائج العملية.

2-تمت مقارنة نتائج النموذج المقترح مع طريقتين هما طريقة ماينر وطريقة نمو الشقوق وكانت نتائج النموذج المقترح اقرب إلى النتائج العملية .

3- النموذج الحالي يشمل اجهادات ذات مدى واسع مبتدئين باجهادات واطئة جدا الى اجهادات قريبة من الإجهاد الأقصى للمعدن.

4-يمكن تعميم النموذج الرياضي في حساب أعمار العينات للمعادن المختلفة وذلك بعد معرفة منحني الإجهاد – عدد دورات الفشل لتلك المعادن باجهادات ذات مدى أوسع .

5- النموذج المقترح يعد نموذجا جيدا من الناحية الاقتصادية .

المصادر

[1]-Al-Alkawi,H.J.andJasim,I.T **"Crack Growth Model as a tool for Fatigue Life Prediction**" J. of Military Eng. College,1990.

[2]-Al-Alkawi, **"The Effect of The Notch and Corrosion on Fatigue Behavior of 2024 - T4 Aluminum Alloy** ",J. of Military College of Eng.,No.12,PP.(98),1993.

[3]-Abdul – Latif, M.S. **"Fatigue Under Combined Stresses for 2024 – T4 Duralumin** " M.Sc. Thesis, Militarsy Engineering College, 1994.

[4] -Sallman, A.Z. **"Effect of Mean Stresses on Combined Loading Fatigue of Aircraft alloy 2024 – T4"** M .Sc. Thesis, Military Engineering College, 1995 .

[5]-Hussain, A.A.**"Corrosion Fatigue Under Combined Loading and Different Condition"** Ph. D Thesis, Mechanical Engineering Dept., University of Technology,1997 .

[6]-Faysel **"Shot penning Effect in Particular Aircraft Aluminum Alloys"** M.SC. Thesis University of Technology 2002.

[7]- الصراف سعد عباس "**التخمين الأمين لأعمار المعادن تحت ظاهرة التعرية الكلالية** "،أطروحة دكتوراه ،الجامعة التكنولوجية ،قسم التعليم التكنولوجي ، 2003 .

[8] العمران يسرى توما "**دراسة تأثير عملية النتردة على مقاومة الكلال لفولاذ سبائكي نوع 42CrMo4**"، أطروحة ماجستير ، الجامعة التكنولوجية ، قسم هندسة الإنتاج والمعادن،2003.

[9- محمد صدام سعدي "تخمين عمر **الكلال لجسم الطائرة تحت تأثير أحمال طيران مختلفة**" أطروحة ماجستير الجامعة التكنولوجية ، قسم هندسة المكائن والمعدات ، 2003 .

[10]-N.Gao, M. W. Brown, K. J. Miller and P.A.S. Ree **"An investigation of crack growth behavior under creep-fatigue condition"** Material science and Engineering A. 2005.

[11]-Prakash Chandra Gope, Sandeep Bhatt and Mohit Pant

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

fatigue –creep interaction" Materials letters 62, 2008.

[15]-M.M.Raman, K. Kadirgama, M.M. Noor, M.R.M. Rejab and S.A. Kesulai, **"Fatigue Life Prediction of Lower Suspension Arm Using Strain-Life Approach"** European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.30 No.3, 2009.

[16]-AL- Alkawi, H.J., **"An Appraisal of liner damage Rule in Fatigue life prediction of 2024-T4 AL Alloy "** Journal of military Engineering college, No.8, 1991.

[17]-Akid, R**."The influence of environment upon the accumulation of damage under corrosion fatigue condition"** fatigue fact Engage mater Strict, Vol.19,No.213,PP.277-258, 1996.

[18]-AL-Alkawi, H.J and Jasim, I.T. **"Crack Growth model as a tool for Fatigue life prediction"** Journal of military Engineering college, 1990.

"Geometry and Material Property Uncertainty Model for Fatigue Life Predictions" Paper 119, Proceedings of the SEM 2007 Annual Conference and Exposition, Spring, Massachusetts, USA, 2007.

[12]-G.D.M. Liljedahl, J. Brouard, O. Zanellato, J. Lin, J.F. Tan, S. Ganguly, P.E. Irving, M.E. Fitzpatrick, X. Zhang and L. Edwards "**WELD RESIDUAL STRESS EFFECTS ON FATIGUS CRACK GROWTH BEHAVIOUR OF ALUMINIUM ALLOY 2024-T3"** First International Conference on Damage of Aircraft Structures R. Benedictus, J. Schijve, R.C. Alderliesten, J.J. Homan (Eds.) 2007.

[13]-Abdallah L. Mbaruku and Justin Schhwartz, Fellow, IEEE **"Fatigue Behavior of Y-Ba-Cu-0/Hastelloy-C Coated Conductor at 77K"** IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, VOL. 18, NO. 3, SEPTEMBER 2008.

[14]-Huifeng Jiang, Xuedong chen, Zhichao Fan, Jie Dong, Shouxiang Lu **"A new Empirical life prediction method for stress controlled**

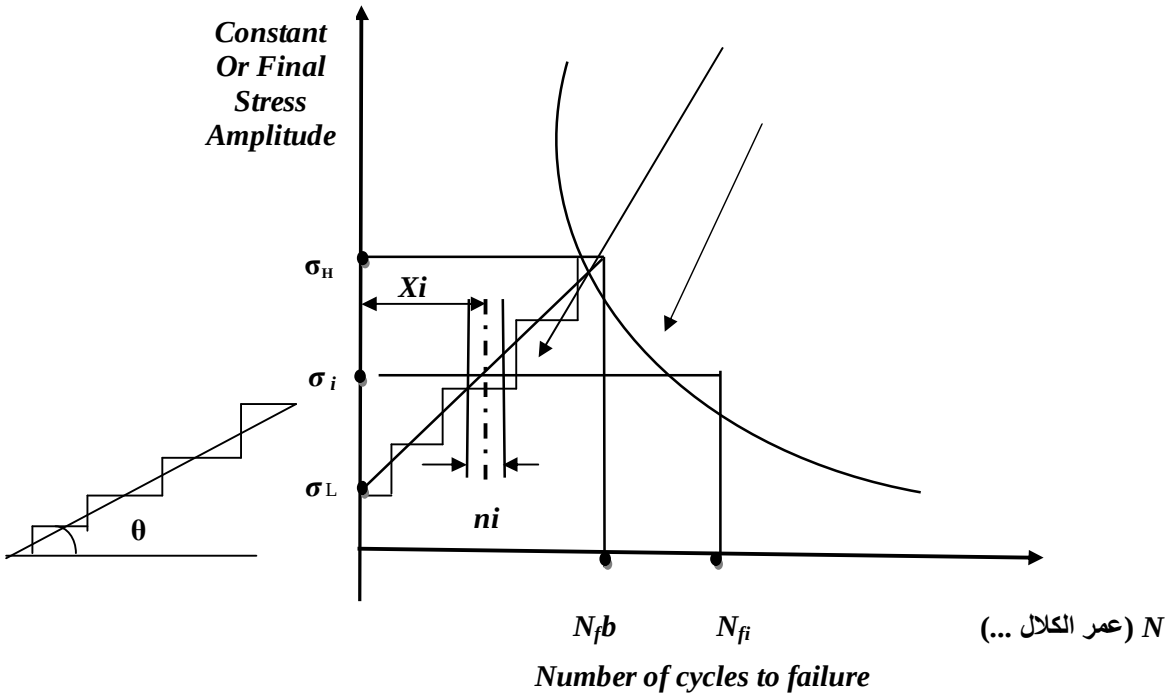
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الجدول (1) يمثل المنحني الأمن لأعمار العينات لمجموعة النماذج مقارنة مع النتائج العملية

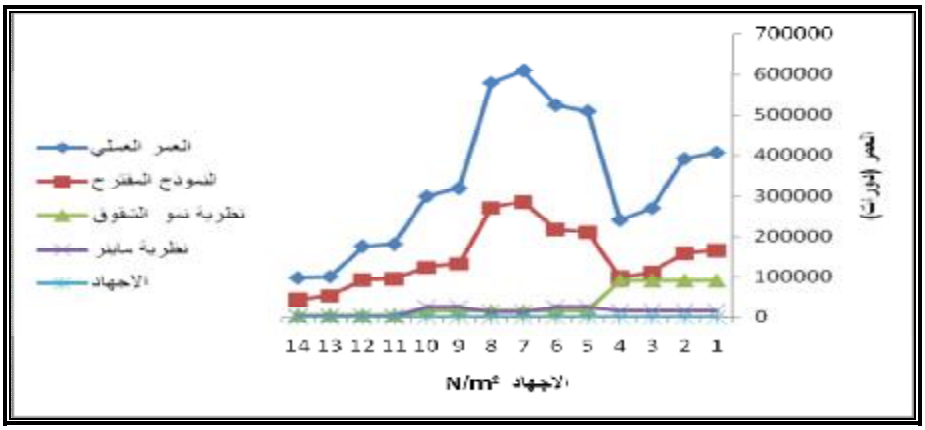
Spo. No.	Stress Mpa	Life L.D.R نظرية ماينر	Life E.C.G نظرية نمو الشقوق	Life النموذج المقترح	لعمر العملي
1	110-250	14940	90905	165962	407000
2	110-250	14940	90905	159820	392000
3	250-110	14940	90905	110030	270000
4	250-110	14940	90905	98350	241000
5	100-240	24389	15694	210766	510000
6	100-240	24389	15694	216875	525000
7	90-250	13690	15694	285909	610000
8	90-250	13690	15694	270455	580000
9	240-100	24389	15694	132365	320000
10	240-100	24389	15694	124219	300000
11	100-290	2520	5332	94543	182000
12	100-290	2520	5332	92312	177000
13	290-100	2520	5332	52864	101000
14	290-100	2520	5332	51799	98000

(

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



الشكل(1) رسم تخطيطي لسعة الاجهاد الثابت والمتزايد



الشكل(2) يوضح المقارنة بين النظريات والنموذج المقترح مع النتائج العملية

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com