تأثير الإحمال الثابتة والمتغيرة السعة على عمر الكلال لسبيكة من الفولاذ المنخفض الكاربون

شيماء عبد الخضر حمزة

الكلية التقنية/ المسيب

sh.iraq79@yahoo.com

الخلاصة

تضمن البحث دراسة معدل نمو الشقوق وتراكم ضرر الكلال لسبيكة من الفولاذ المنخفض الكاربون تحت اجهادات حني دورية ثابتة ومتغيرة السعة وبنسبة اجهاد ثابتة مقدارها (R=0.1)، حيث تم تصميم مجموعتي اختبار تضم ١٢ عينة مسطحة الشكل.تهدف اختبارات القسم الاول الثابتة السعة الى دراسة معدل نمو وزيادة شقوق الكلال بزيادة الاجهادات المسلطة. تضمن القسم الثاني اختبارات كلال متغيرة السعة مستقرة من نوع تحميل (متناقص) و(متزايد – متناقص)، كان الهدف منها دراسة تاثير تسلسل مديات الاجهاد الدوري على معدل نمو الشقوق وعمر الكلال.ان النتائج الخاصة بالاحمال الثابتة السعة اثبتت ان زيادة الاجهاد المسلط حوالي ٢٦% تؤدي الى تقليل مقاومة الكلال وبالتالي نقصان عمر الكلال بحوالي ٩٣%، اما في حالة المجموعة الثانية والتي تمت تحت احمال متغيرة السعة مستقرة فكانت النتائج كالآتي: في حالة كون الحمل من نوع تزايد– تناقص وجد ان عدد دورات الفشل N_f تصل الى ١٨٦٠٠٠ دورة بينما في حالة كون الحمل من نوع تناقصي فكانت عدد الدورات اللازمة للفشل N_f ١٥١٠٠٠ دورة.

الكلمات المفتاحية: عمر الكلال، احمال ثابتة السعة، احمال متغيرة السعة.

Effect of Fixed and Variable Amplitude Loads on the Fatigue Life of Low Carbon Steel Alloy

Abstract:

This research studies the growth rate of the cracks and accumulation damage of the fatigue for low carbon steel alloy with fixed and variable stresses amplitude. All tests were carried out under a stress ratio of (R=0.1) and at room temperature condition. Two test groups consisting of 12 flat samples were designed.

The first group was tested under constant amplitude loads which aimed to study the rate of growth and the increasing of fatigue cracks by increasing the stresses exerted. The second group was tested under variable amplitude loads in the form of (decreasing) and (increasing- decreasing) loads. The aim was to study the effect of periodic strain ranges on the growth rate of cracks and fatigue life.

The results of the constant amplitude loads proved that the increasing of the applied stress about 26% leads to reducing the fatigue strength and thus decreasing the fatigue life about 93%. In the case of the second group, which was carried under variable amplitude loads, the results were as follows: In case of variable amplitude loads in the form of (decreasing), N_f is up to 186000 cycles while in case (increasing- decreasing) loads, the number of courses required for the failure was N_f 151000 cycles.

Keywords: Fatigue life, fixed amplitude loads, variable amplitude loads**.**

المقدمة:

تتعرض العديد من اجزاء المكائن والالآت عملياً الى الالآف او قد تصل الى الملايين من دورات الاجهاد المتكرر(Repeat Stress)، بصورة عامة فأن المواد المستخدمة في صناعة هذه الاجزاء قد تفشل عند تعرضها لعدد معين من دورات الاجهاد المتكرر حتى لو كانت قيمة اقصى اجهاد اقل بكثير من الاجهاد الذي يسبب كسرها **(Vikram and Kumar, 2013)**. يسمى الفشل الناتج من دورات الإجهاد المتكرر بفشل الكلال **(Fajdigag, 2000)**.

ادى نشوء الثورة الصناعية في بداية عام ١٨٠٠م الى ظهور المكائن والمعدات الدوارة والترددية بحيث اصبحت الاجزاء المتحركة التي تفشل بسبب الاحمال المتكررة مألوفة بشكل كبير، لوحظت هذه الظاهرة عندما تم تصميم وتنفيذ مشروع لسكك حديد بالاعتماد على العلاقات الاستاتيكية والمتمثلة بقانون

هوك وبفحوصات الشد حيث كانت قيم اجهادات الخضوع للمعادن المستخدمة في المشروع آنذاك أعلى بكثير من قيم الاجهادات المسلطة فعليا أي بحوالي ١,٥كعامل أمان. ولكن بعد انجاز التصميم ووضع هذه السكك في الخدمة ظهرت بعد أيام شقوق فيها وبدأت بالنمو في بعض الأجزاء حيث حدث الفشل. لذلك لجأ المصممون إلى دراسة هذه الظاهرة بشكل كبير وعميق. ومن هنا ظهرت ظاهرة الكلال التي اطلق عليها هذه التسمية الفرنسي (Pancelet) في عام ١٨٣٩م**(Singal, Gill, and Mahajan, 2017)**.

تم التركيز في هذا البحث على دراسة معدل نمو الشقوق وتراكم ضرر الكلال لسبيكة من الفولاذ المنخفض الكاربون لما لهذه السبيكة من تطبيقات عملية واسعة اضافةً الى اهمية دراسة الاحمال الثابتة والمتغيرة السعة على عمر الكلال، حيث اجريت عدة دراسات تناولت تأثير الاحمال الثابتة والمتغيرة السعة، منها الدراسة التي قام بها **(يسري توما مروكي العمران، ٢٠١٠)** والتي كانت تهدف الى بيان تأثير الأحمال الثابتة والمتغيرة السعة على مقاومة الكلال لفولاذ كربوني A1SI 1020 قبل وبعد عملية اللحام التي تمت بطريقة القوس الكهربائي المحمي بالغاز (MIG). حيث أجريت اختبارات الكلال الثابتة السعة بالانحناء الدوار عند متوسط أجهاد مقداره صفرأما الأختبارات عند أجهادات متغيرة السعة فقد أجريت عند أجهاد عالي _ واطئ إذ ان مقدار الأجهاد العالي كان قريب من أقصى أجهاد شد للمعدن قبل اللحام والذي تم الحصول عليه من أختبار الشد الذي أجري للمعدن قبل وبعد عملية اللحام، إذ وجد أنه يساوي (400 MPa) للمعدن بدون لحام و(450 MPa) للمعدن الملحوم، أما الأجهاد الواطئ فقد أنتخب بنسب من حد الكلال للأجهاد الثابت السعة وهي١٠-١٥-٢٠% من حد الكلال. أما الباحثة **(خيرية سلمان حسن، ٢٠٠٥)** تناولت في بحثها تأثير مركزات الاجهاد على مقاومة الكلال لفولاذ منخفض الكربون (C 0.16%) تم اجراء عملية كربنة غازية له. تم عمل حز بشكل حرف (V) بعمق(٠,٣،٠,١) ملم لكل من المعدن الأساس والمكربن لدراسة تأثير تركيز الأجهاد. اجري اختبار الكلال (نوع الانحناء الدوار) على العينات عند اجهاد ثابت السعة ونسبة اجهاد (R=-1). ظهر ان زيادة نسبة الكربون بطريقة الكربنة الغازية على سطح المعدن الى حد (C 0.7%) تؤدي الى تحسين مقاومة الكلال كما تبين ان عمل الحز للعينات المكربنة يؤدي الى انخفاض مقاومة الكلال.أما الباحث**(حسين جاسم العلكاوي، ٢٠١٠)** قام بدراسة ظاهرة الكلال لسبيكة الالمنيوم ذات الرمز (T3-٢٠٢٤) تحت اجهادات ثابتة ومتغيرة السعة. الحمل الذي تم تسليطه من نوع الانحناء الدوار ومقطع العينة دائري بقطر (٦,٧٦) ملم جميع الفحوصات العملية تمت نسبة اجهاد R=-1 ودرجة حرارة الغرفة. وشمل البحث إجراء فحوصات على عينات تحت اجهادات ثابتة ومتغيرة السعة وذلك لدراسة تأثيرات تتابع الإجهاد والضرر المتراكم. الباحث **(احمد مهدي صاحب،٢٠١١)** قام بإجراء دراسة تضمنت محورين، الاول اختبار كلال ثابتة السعة من نوع الانحناء الدوار (Rotating Bending) وبنسبة اجهاد (R=-1) وكان حد الكلال للمعدن المستخدم (195Mpa)، اما المحور الثاني فقد تضمن دراسة سلوك نمو شقوق الكلال القصيرة والطويلة واستنتاج انموذج رياضي يصف طبيعتها.

الجانب العملي :

١. المادة المستخدمة(Material):

ان المادة المستخدمة في هذا البحث هو فولاذ منخفض الكاربون (Low Carbon Steel) الذي يستخدم في الاغراض الصناعية بشكل واسع لما يوفره من توازن جيد بين المتانة والقوة والليونة .مع خصائص ميكانيكية جيدة **(Azom, 2012)**.

١،١. التركيب الكيميائي (Chemical Composition) (Azom 2012):

تم فحص التركيب الكيميائي للعناصر المكونة للفولاذ المستخدم كما موضح في جدول (١)

١،٢. الخواص الميكانيكية (Mechanical Properties) (Azom 2012):

الخواص الميكانيكية للفولاذ المستخدم تم قياسها وكما موضح في الجدول رقم (٢)

٢. عينة اختبار الكلال Fatigue Test Specimen

تم تصنيع عينات اختبار الكلال الموضحة في الشكل (١) حسب المواصفة القياسية ASTM E1823 - 13 لعينة الاختبار الخاصة بجهاز (Avery 7305) والخاصة بالعينات المسطحة **("Catalogue of Key to Steel"** 1988) **("Catalogue of Avery Type 7305-Fatigue Testing Machine")**، وبأستخدام مكائن التفريز المبرمجة CNC للحصول على الدقة المطلوبة. تم مراعاة تصنيع العينات باتجاه موازي لاتجاه الاجهادات الداخلية الناتجة من عملية التصنيع، وتم اجراء معاملة حرارية لغرض ازالة الاجهادات الداخلية الناتجة من عملية التصنيع (Relifing Stress) من خلال تسخين العينات الى درجة حرارة ٣٢٥C° ومن ثم التبريد في الهواء، وتم فحص البنية المجهرية للتأكد من ذلك وكما موضح بالشكل (٢).

اجريت بعد ذلك عملية الانهاء السطحي للعينات باتباع المراحل التالية:

١. مرحلة التنعيم: تضمنت استخدام ورق كاربيد السيليكون لتنعيم سطوح العينات وبدرجات مختلفة ابتداءً بدرجة ٢٢٠ وانتهاءً بدرجة ١٢٠٠.
٢. مرحلة الصقل: تضمنت استخدام محلول الالومينا مع قماش الصقل الخاص به في صقل سطوح عينات الاختبار وبدرجتين الاولى كانت بدرجة نعومة (٥µ) والثانية بدرجة نعومة (١µ).

٣. جهاز اختبار الكلال Fatigue Test Machine

تم اجراء اختبارات الكلال الثابتة والمتغيرة السعة باستخدام جهازمن نوع (Avery 7305) والموضح في الشكل رقم (٣) والذي يعمل بطريقة الانحناء المتعاكس (Reversed bending) ويتكون هذا الجهازمن محرك كهربائي بسرعة ١٤٢٠دورة بالدقيقة مثبت باحدى نهايتي عموده الدوار عداد الدورات وفي نهايته الاخرى قرص تدوير ثنائي لامركزي (Dual Eccentric Disc) ويُنظم هذا القرص ليعطي زاوية الانحناء التي تصل كحد اقصى الى ٢٤° ويثبت على القرص ذراع توصيل لنقل الحركة الدورانية الى المحمور المتذبذب (Oscillating Spindle) والذي عليه فك تثبيت العينة.

اما الفك الثاني لتثبيت العينة فيكون مثبت على عمود مقياس العزم والذي يكون مثبت داخل حاوي (Housing) بواسطة محملين، يكون الامامي مثبت عليه قاعدة محددات القراءات وذراع التلامس معهما. اما المحمل الخلفي فيحتوي براغي ضبط التي يمكن من خلالها ضبط مقدار الحمل السكوني المسلط على العينة للحصول على قيمة لنسبة الاجهاد (R)، يمتلك امكانية الاطفاء الذاتي عند كسر العينة **("Catalogue of Avery Type 7305-Fatigue Testing Machine")**

النتائج والمناقشة

تم استخدام نوعين من الاحمال هي: احمال ثابتة السعة واحمال متغيرة السعة مستقرة من نوع حمل تزايد- تناقص وحمل تناقصي، حيث نلاحظ من خلال النتائج التي تم الحصول عليها من عملية اختبار الكلال للعينات انه في حالة المجموعة الاولى من العينات والتي تمت تحت احمال ثابتة السعة وجد ان زيادة الاجهاد

المسلط يؤدي الى تقليل مقاومة الكلال وبالتالي نقصان عمر الكلال ويرجع السبب في ذلك الى ان هذه الزيادة في قيمة الاجهاد تؤدي الى التعجيل في عملية تكوين وزيادة نمو شقوق الكلال، والشكل(٤) والجدول (٣) يوضحان قيم الاجهاد المسلط وعدد الدورات اللازمة للفشل.

اما نتائج المجموعة الثانية فكانت كالآتي :

في حالة كون الحمل من نوع تزايد– تناقص وجد ان عدد الدورات اللازمة للفشل Nf اكثر من عدد الدورات اللازمة للفشل N_f في حالة الحمل التناقصي ويرجع السبب في ذلك الى انه في حالة الحمل من نوع تزايد– تناقص عند بداية تسليط الحمل يبدأ شق الكلال بالنمو بصورة بطيئة لان الحمل قليل وبأستمرار زيادة الحمل يزداد نمو الشق لكن عند نقصان الحمل اي عند تقليل الحمل المسلط يحدث للشق فترة سكون لكي يبدأ بالزيادة في النمو ولكن بصورة اقل. والشكل التالي يبين عدد الدورات اللازمة للفشل في حالة الحمل من نوع تزايد– تناقص، وكما موضح في الشكل رقم (٥).

اما في حالة عينة تناقص فأن نمو الشق يبدأ بصورة سريعة ولكن تقليل الحمل يؤدي الى زيادة في نمو الشق ولكن بصورة بطيئة ومع ذلك فأن عينة الحمل التناقصي تفشل اسرع من عينة الحمل التزايدي – التناقصي، شكل رقم (٦).

الاستنتاجات

١- كلما زاد الاجهاد المسلط قل عدد الدورات اللازمة للفشل، اي قل عمر الكلال.

٢- في حالة الاحمال الثابتة يكون عمر الكلال اكبر مقارنة بالاحمال المتغيرة حيث يكون عدد الدورات اللازمة للفشل اكبر وبالتالي فأن الزمن اللازم لتكون ونمو الشق اكبر.

٣- ان معدل نمو الشقوق في حالة الاجهادات الدورية متغيرة السعة المستقرة من نوع تزايدي – تناقصي اقل من معدل نمو الشقوق في حالة الاجهادات الدورية متغيرة السعة المستقرة من نوع تناقصي.

المصادر

احمد مهدي صاحب، ٢٠١١، "نمذجة نمو شقوق الكلال القصيرة والطويلة للفولاذ الانشائي ".(DINst52-3) مجلة الهندسة والتكنلوجيا.

حسين جاسم العلكاوي، ٢٠١٠، "تخمين أعمار كلال الاجزاء باستخدام نموذج رياضي مقترح."مجلة الهندسة والتكنلوجيا ١٩: ٩٢٢–٣٢.

خيرية سلمان حسن، ٢٠٠٥، "تأثير تركيز الاجهاد على مقاومة الكلال لفولاذ مكربن." مجلة الهندسة والتكنلوجيا ٤.

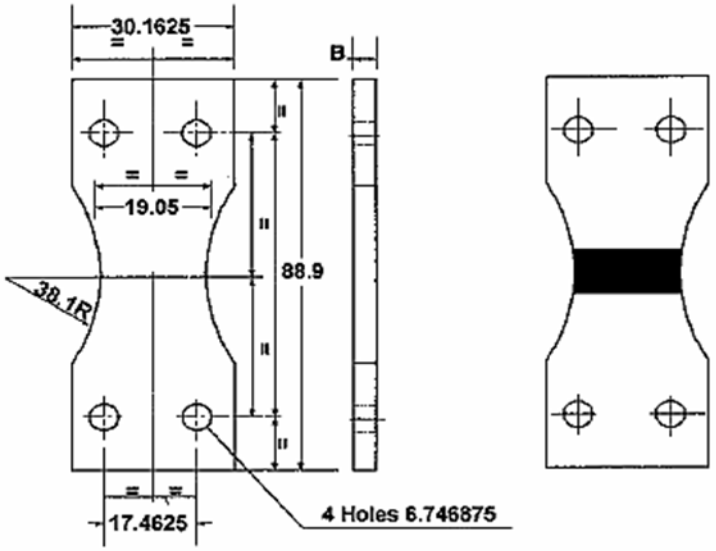
يسري توما مروكي العمران، ٢٠١٠،" تأثير عملية اللحام بطريقةMIGعلى مقاومةالكلال عند اجهادات ثابتة ومتغيرة السعة." مجلة الهندسة والتكنلوجيا ٧: ٢٩١–٣٠٠.

Azom,2012,"AISI 1018 Mild / Low Carbon Steel," 1–4."Catalogue of Avery Type 7305-Fatigue Testing Machine"."Catalogue of Key to Steel." 1988. *Federal Republic of Germany*.

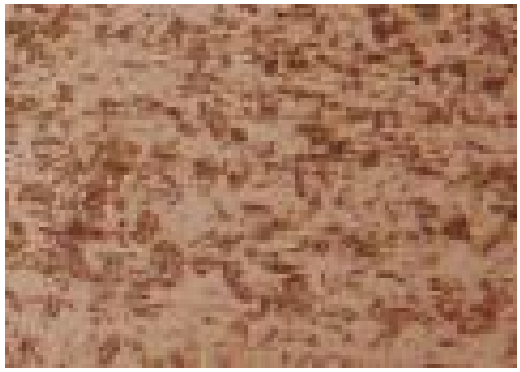
Fajdigag, Flaskerj, 2000, "Numerical Analysis of Surface Fatigue Crack Groth Using FEM Method." *Int. Design Conf.*, 527–32.

Singal, L C, Rajwinder Singh Gill, and Aishna Mahajan, 2017, "Fatigue Mechanical Life Design-A Review." *International Journal of Engineering Research and General Science* 5 (2): 247–51.

Vikram,Nirpesh,and Raghuvir Kumar,2013,"Review on Fatigue-Crack Growth and Finite Element Method."*International Journal of Scientific & Engineering Research* 4 (4): 833–43.



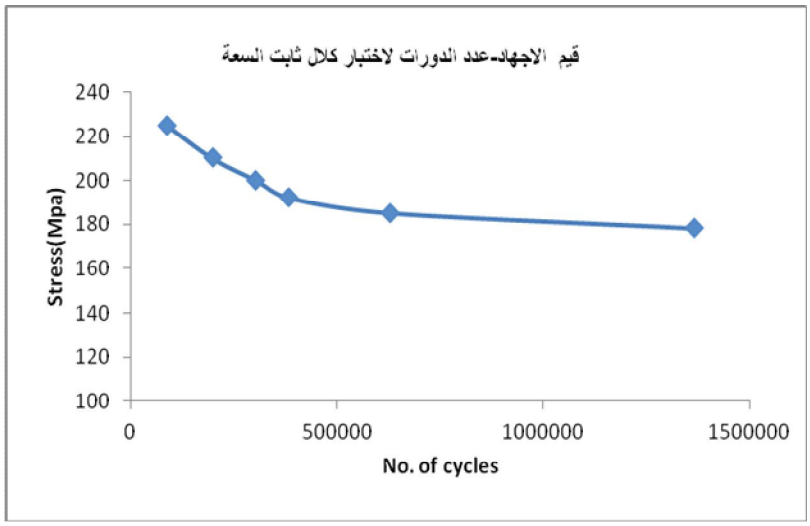
شكل رقم (١)



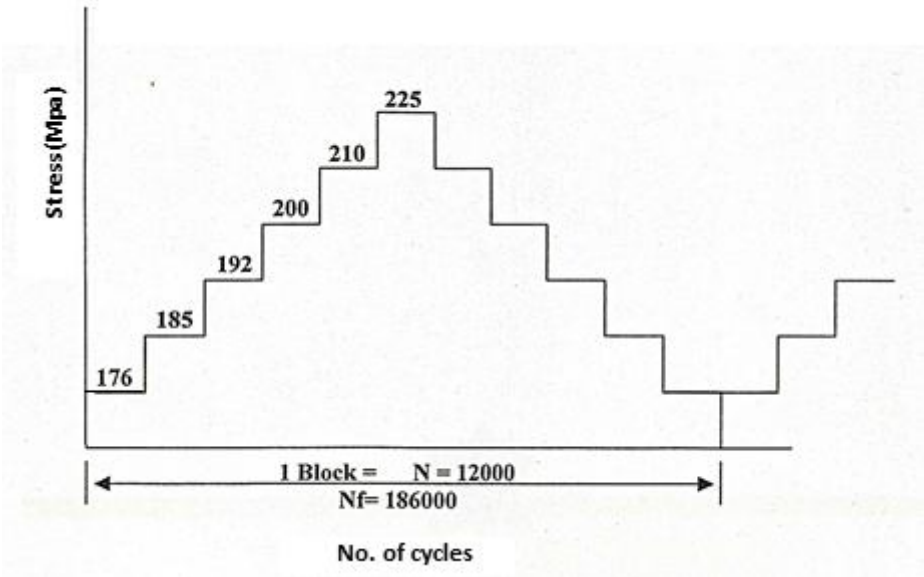
عينة اختبار الكلال حسب المواصفات القياسية الخاصة بالجهاز (Avery 7305) ("Catalogue of Key to Steel")
("Catalogue of Avery Type 7305-Fatigue Testing Machine")،1988)

شكل رقم (٢) : صورة مجهرية لعينة الكلال، قوة تكبير 250X

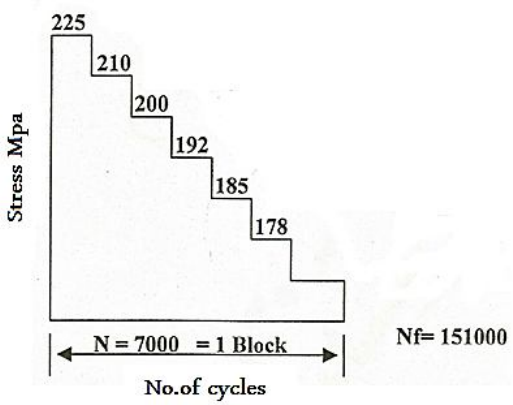
الشكل رقم (٣):جهاز اختبار الكلال Fatigue Test Machine



شكل (٤): قيم الاجهاد–عدد الدورات لاختبار كلال ثابت السعة



شكل (٥):قيم الاجهاد–عدد الدورات لعينة كلال ذات الاحمال من نوع (تزايدي – تناقصي)



شكل (٦):قيم الاجهاد–عدد الدورات لعينة كلال ذات الاحمال من نوع (تناقصي)

جدول (١) التركيب الكيميائي للعناصر المكونة للفولاذ المستخدم

العناصرالمكونة للفولاذ	C	Si	Mn	S	Fe
القيمة الفعلية (wt%)	٠,١٨٦	٠,٢٧	٠,٤٤	٠,٠٣٨	Rem.

جدول (٢) الخواص الميكانيكية للفولاذ المستخدم

اجهاد الخضوع (Mpa)	اجهاد الشد الاقصى (Mpa)	الاستطالة %	صلادة فيكرز
٢٦٧	٤٣٤	٢٤	١٤٠

جدول(٣) قيم الاجهاد–عدد الدورات لاختبار كلال ثابت السعة

عدد الدورات اللازمة للفشل N_f	الاجهاد المسلط Mpa	رقم العينة
٩٠٠٠٠	٢٢٥	١
٢٠٠٠٠٠	٢١٠	٢
٣٠٥٠٠٠	٢٠٠	٣
٣٨٦٠٠٠	١٩٢	٤
٦٣٠٠٠٠	١٨٥	٥
١٣٦٧٠٠٠	١٧٨	٦