دراسة خاصية الكلال لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بألياف الكفلر والزجاج ومتراكبات هجينة

*خالد رشاد الراوي** *حارث إبراهيم جعفر*** *هند وليد عبد الله****

استلام البحث 20، كانون الاول، 2012
قبول النشر 11، اذار، 2014

الخلاصة :
تم في هذا البحث دراسة تأثير نوعية وتتابعيه واتجاهية الطبقات لثلاثة أنواع من الألياف (ألياف الكفلر-49 المحاكة بشكل متعامد و ألياف الزجاج المحاكة بشكل متعامد وعشوائي) في خاصية الكلال باستعمال مادة الايبوكسي بوصفها مادة رابطة . حضرت العينات بطريقة التشكيل اليدوي من مادة الايبوكسي نوع (Quick mast 105) في تحضير المادة المتراكبة . تم فحص الكلل بتسليط جهد جيبي بسعات مختلفة وبتردد حمل ثابت 15Hz وبقيمتين للانحراف (Deflection) (10mm) و (15mm) وصولا إلى عدد الدورات حد الفشل ، بطريقة ألحني الدوار وذلك من خلال المنحني (S-N) والذي من خلاله يحدد (عمر وحد وقوة) الكلل للمتراكبات . وقد أظهرت النتائج إن للتدعيم دور مهم في زيادة مقاومة الكلل مقارنةٍ بالعينات غير المدعمة هذا من جانب ومن جانب أخر إن العينات المدعمة بألياف الزجاج لها مقاومة وعمر كلل أفضل من العينات المدعمة بألياف الكفلر .إما بالنسبة للعينات الهجينة فقد أظهرت نتائج فحص الكلال إن العينة ذات التسليح (كفلر - زجاج منتظم - كفلر) كانت أفضل النتائج إذ أبدت أقوى تحمل إجهاد و أطول عمر كلال ولأكثر من 106×1.3 دورة من بقية الهجائن بينما كانت العينة ذات التسليح ثلاث طبقات كفلر لها اقل مقاومة للكلال .

الكلمات المفتاحية:- المتراكبات الهجينة،الياف الكفلر،الياف الزجاج،فحص الكلال

1- المقدمة:

نتيجة للتطور الصناعي والتكنولوجي الكبير الذي شهده العالم في السنوات الأخيرة وتعويضا للمواد المستخدمة في الصناعات المختلفة كالمعادن والسبائك ،اكتسبت المواد المتراكبة المدعمة بالألياف الكثير من الاهتمام والانتباه بسبب الاستعمالات العديدة منها في الفضاء وصناعة السيارات والطائرات والصواريخ والزوارق وكذلك في الاستخدامات البحرية والطبية والكثير من المجالات لما تتمتع به هذه المواد من خصائص ميكانيكية عالية وخفة وزنها ومقاومتها للظروف البيئية المختلفة بحيث يمكن استخدامها في مختلف التصاميم الهندسية [1].إن أهم الخصائص الميكانيكية التي تميز المواد المتراكبة عن المعادن هي نسبة الصلابة إلى الكثافة (stiffness to density ratio) ونسبة المقاومة إلى الكثافة (strength to density ratio) بالإضافة إلى مقاومتها العالية للكلل [2] .لقد أصبحت المواد المتراكبة أكثر المواد المستخدمة في صناعة الطائرات حيث دخلت متركبات (ايبوكسي اراميد - ايبوكسي زجاج) في صناعة عدد كبير من أجزاء الطائرات مما أدى إلى تقليل وزن الطائرة وأصبحت اقتصادية أكثر [3] . وفي العام 2003 درس كل من (Bezazi) [4] وجماعته تأثير التدعيم في السلوك الميكانيكي لمتراكبات الايبوكسي المدعم بألياف الكفلر مرة والزجاج مرة وهجائن مرة أخرى في أثناء التحميل ودِراسَة أنماطِ الضررِ المختلفةِ ألمسببة للكسر لاختبار الكلال الناتج من اختبار الانحناء ثلاثي النقط (three point bending tests in cyclic fatigue) إذ بينت النتائج العملية بان المتراكب المدعم بألياف الزجاج أفضل مقاومة للكلل من المتراكب المدعم بألياف الكفلر و الهجائن . وفي العام 2007 درس الباحث (Wilson) [5] سلوك الكلال لمتراكبات الايبوكسي والبولي استر غير المشبع المدعم بصفائح من الزجاج والكاربون وهجائن مكونة من (زجاج – كاربون – زجاج) وذلك من خلال منحني الإجهاد – عدد الدورات (S-N) ركزت الدراسة على نقطتين : عمر الكلال وميكانيكية التكسر الحاصلة نتيجة التوسعات الطبقية ، بينت الدراسة مقاومة المادة الهجينة للتوسعات الطبقية.

وفي العام 2009 درس الباحث (E . C . Botelho) [6] وجماعته سلوك الكلال لمتراكب الايبوكسي المدعم بألياف الكفلر-49 وبنوعين من الدورات (منخفضة وعالية)

*قسم الفيزياء،كلية العلوم للبنات،جامعة بغداد
**قسم الفيزياء،كلية العلوم،جامعة بغداد
***قسم الفيزياء،كلية العلوم،جامعة ديالى

بينت النتائج نقصاناً في قيم مقاومة الكلال وبنسبة 10% للدورات المنخفضة وبنسبة 18 %للدورات العالية مقارنة بتلك التي لم تعالج بألياف الكفلر .
نظرا للتطور التكنولوجي الحديث والحاجة إلى إدخال مواد جديدة في الصناعة ذات خواص ميكانيكية عالية أفضل أو تضاهي خواص المعادن ومنها المواد المتراكبة التي تمتلك مقاومة عالية للكلل الذي يعتبر من المشاكل الخطرة للفشل الذي يحدث فجأة كما هو الحال في المعادن حيث يَعتبرُ الكلال احد أنواع الفشلِ الذي يحدثُ للأجزاءِ الهندسيةِ التي تَعاني مِنْ الإجهادِ الديناميكيِ والمتقلّبِ كما في الطائراتِ، السُفن و الجسور والأجزاء الهندسية الأخرى حيث تتمايز المواد المتراكبة المقواة بألالياف بأدائها العالي وذلك بسبب امتلاكها معاملات ميكانيكية عالية من مرونة وشد في المادة الأساس التي تعمل على توزيع الحمل على الألياف ، فضلا عن منع نمو الشقوق الصغيرة (Cracks) التي تحدث نتيجة الاجهادات الميكانيكية .إن سلوك الكلال يعبر عنها غالبا بمصطلح بأنها عدد الدورات المؤدية للفشل عند المستويات الإجهاد العالية ، ويعبر عن سلوك الكلال من خلال منحني (الإجهاد - عدد الدورات) (The S/N Curve) [7]. ويعرف مستوى الإجهاد الذي لا يحصل عنده الفشل وان استمر عدد الدورات إلى مالا نهاية بحد الكلال (Fatigue Limit) ،لذا يمكن تحديد حد الكلال من خلال اختبار عدة نماذج تحت قيم سعات إجهاد مختلفة (ثابتة أو متناوبة) وتعرف قوة الكلال (Fatigue strength) تعرف بأنها أقصى عدد دورات الإجهاد يمكن إن تتحملها المادة [8] . ويحدد عمر الكلال(Fatigue Life) من خلال العدد الكلي لدورات الكلال إذا كانت المادة موضوعة تحت (انفعال أو إجهاد) دوري cycles ((stresses or strained [9] . تعتمد ظاهرة الكلل في المواد المتراكبة المدعمة بالألياف على عدة عوامل هي (الانحراف الناتج من عزم الانحناء ،نوع الألياف، اتجاه الألياف،الكسر ألحجمي و عدد طبقات الألياف) وهنالك عوامل أخرى منها (الرطوبة ،درجة الحرارة ، الحمل المسلط ،استمرارية الحركة) وغيرها من العوامل الأخرى [10] .

2- المواد وطرائق العمل:

2-1 المادة الأساس (Matrix Materials):

استخدم في هذا البحث راتنج الايبوكسي (Quick mast 105) الأردني المنشأ حيث يتصلب الايبوكسي بإضافة مادة مصلدة (Hardener) وبنسبة 3:1 من كمية الايبوكسي ، أن مدة التصلب لراتنج الايبوكسي المستعمل تستغرق أكثر من3 ساعات عند درجة حرارة الغرفة ثم يترك لمدة أسبوعين لغرض إكمال المعالجة Full curing وبعدها يتم تقطيع العينات ضمن المواصفات القياسية للاختبارات المستخدمة خلال هذا البحث إما المصلد المستخدم فهو مادة سائلة تمتاز بلزوجتها الواطئة جداً وتكون ذات لون اصفر شفاف .إذ إن المصلد يضاف إلى الراتج مما يؤدي إلى حدوث تفاعل بينهما عند درجة حرارة الغرفة .

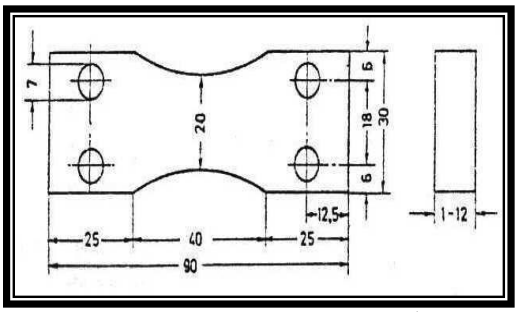
مواد التدعيم (Reinforcement (Materials

لقد استخدمت نوعين من الألياف كمواد للتدعيم وهي

- ألياف الكفلر -49 والمحاكة بشكل حصيرة (Woven Roving) .
- ألياف الزجاج نوع E-Glass بشكل حصيرة (Woven Roving) .

2-2 تحضير العينات

حضرت النماذج المدعمة بثلاث طبقات من ألياف الكفلر مرة و ثلاث طبقات ألياف الزجاج مرة أخرى وبكسر حجمي 25% من المادة الأساس حيث تم تقطيع العينات كما في الشكل(1) الذي يوضح عينة اختبار الكلال وحسب التعليمات الواردة في دليل الجهاز ، حيث تم تقطيع العينات باستخدام منشار ترددي وبعد عملية التقطيع تم



تثقيب العينات باستخدام مثقب كهربائي .

شكل (1) يوضح نموذجِ اختبار الإعياءِ بالأبعادِ في mm .

حيث نُفّذَ اختبار الكلال بإخضاع جميع النماذج إلى تردد حمل ثابت مقداره (15 Hz) وبثلاث قيم للانحراف (U=10 mm) لعينات الايبوكسي بدون تدعيم ، مدعمة بألياف الكفلر مرة و مدعمة بألياف الزجاج مره أخرى . وباستخدام ماكنة الكلال من نوع التبادلي (PWON) والمصنع من قبل شركة (CARL SCHNCH AG) ألماني المنشأ وصمم هذا الجهاز لتسليط قوة الكلال لعينات مصنوعة من الفولاذ (Steel) ومواد غير فولاذية وأخرى مصنعة .هذه الماكنة تعمل بواسطة اختبار الانحناء المتناوب (Fatigue Machine

Alternating Bending) للنماذج المستوية ومكونات هذه الماكنة موضحة في الشكل (1-2) وان إجهاد الانحناء (σ) للنابض يحدد من العلاقة :-

$$\sigma = \frac{m_b}{W} \quad \ldots\ldots(1)$$

$$W = \frac{b^2 h}{6} \quad \ldots\ldots\ldots(2)$$

m_b : عزم الانحناء
b: عرض خصر العينة
h: سمك العينة

شكل (2) يوضح جهاز اختبار الكلال

3-2 أنواع النماذج المصنعة
The Type Of Preparation Samples

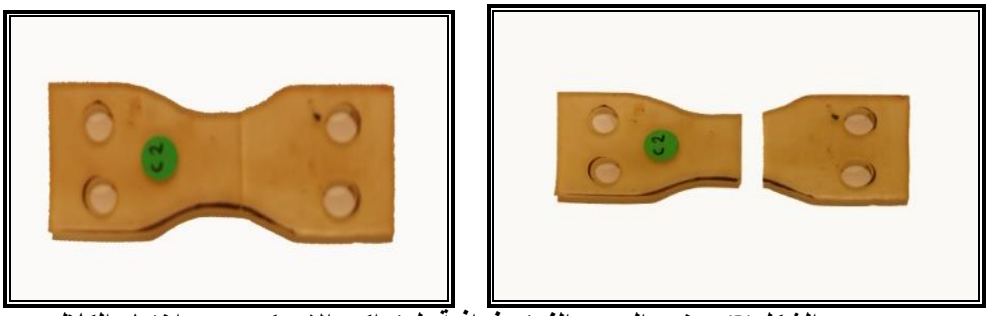
لقد تضمنت العينات المدعمة أربعة أنواع وكما موضح في الجدول (1) :-

جدول (1) النماذج المصنعة ورموزها

نوع العينة	رمزها
راتنج الايبوكسي	EP
متراكب الايبوكسي المدعم بثلاث طبقات من ألياف الكفلر	3K/EP
متراكب الايبوكسي المدعم بثلاث طبقات من ألياف الزجاج	3G/EP
متراكب الايبوكسي المدعم بثلاث طبقات هجينة مكون من (كفلر- زجاج- كفلر)	3KGK/EP
متراكب الايبوكسي المدعم بثلاث طبقات هجينة مكون من (كفلر- زجاج عشوائي – كفلر)	3KGRK/EP
متراكب الايبوكسي المدعم بثلاث طبقات هجينة مكون من (زجاج- كفلر – زجاج)	3GKG/EP

3- النتائج والمناقشة:

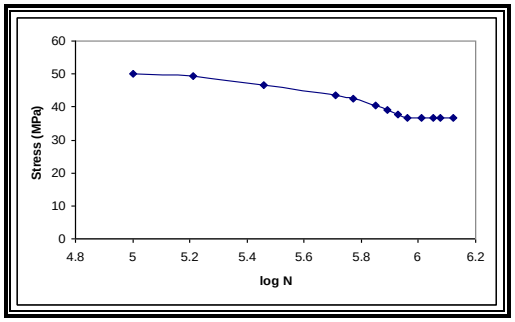
لقد أظهرت النتائج والفحوصات المختبرية لراتنج الايبوكسي الغير مدعمة والمسلط عليها حمل خارجي بانحراف قدره (10 mm) عن مستوى العينة الثابتة إجهاده (25 MPa) بعدد دورات ($6.92*10^4$) موديا إلى كسر العينة ويعزى سبب ذلك إلى إن راتنج الايبوكسي يتميز بسلاسل جزيئية طويلة والتي تتشابك مع بعضها عند التصلب ،حيث تلعب تلك النظامية والتوجيه في السلاسل ودرجة التشابك دور مهم فعند تسليط حمل خارجي يودي إلى تمدد تلك السلاسل عند الأحمال العالية و خلال الفحص سيزداد المدى المؤثر على العينة لقوة (الشد الانضغاط) الذي يعجل في تكوين الشقوق الأولية في راتنج الايبوكسي بسبب الزيادة الموضعية الحادة في الطاقة الداخلية وبالتالي يحدث انهيار في المناطق التي تتجاوز فيها طاقة التقلبات الحرارية طاقة الأواصر الكيميائية فيحدث الكسر .



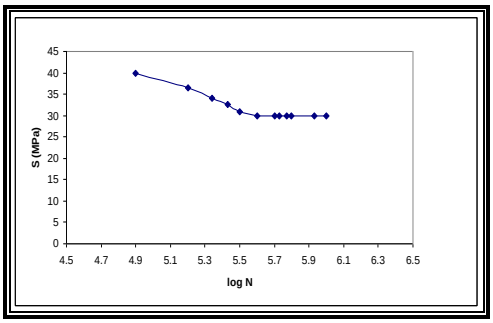
الشكل(3)يوضح الصور الفوتوغرافية لمتراكب الايبوكسي بعد اختبار الكلال.

3-1 العينات المدعمة بألياف الزجاج

أظهرت النتائج المختبرية لهذه العينة من خلال المنحني *(S-N)* تحمل إجهاد ابتدائي قدره (50MPa) والمبين من خلال الشكل(4) ، وباستمرار الإجهاد الدوري المسلط حيث نلاحظ بَدْأُ عمليةُ الضررِ بابتداء شقوق صغيرة (micro cracks) للراتنج وذلك بعمر كلال (Fatigue Life) قدره $13*10^6$ دورة و نلاحظ في خصر العينة ظهور بقع بيضاء اللون ، ويرجع سبب ذلك إلى إضعاف الترابط بين الألياف والراتنج (fiber/matrix bonding) . إن دور الألياف يبين مدى مقاومة المتراكب للشقوق ومقاومة استمرار الشقوق للمتراكب ككل ويرجع ذلك امتلاك ألياف الزجاج سطح بيني ممتاز[4] .



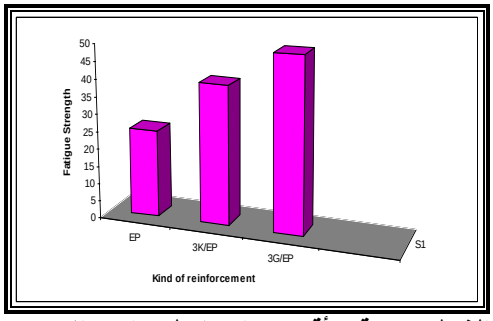
الشكل (4) منحني (S-N) لمتراكب الايبوكسي المدعمة بثلاث طبقات من الألياف الزجاج



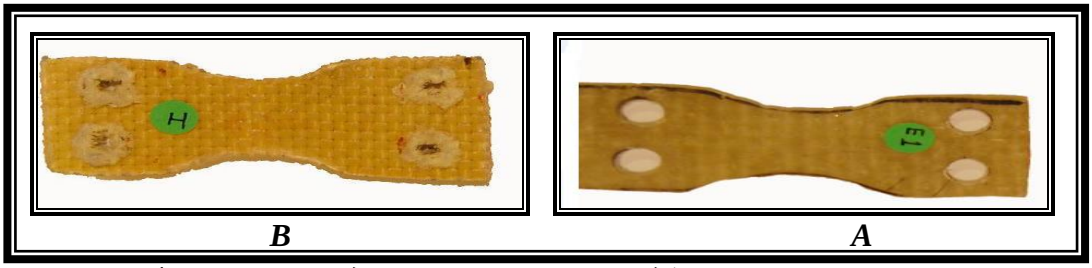
الشكل (5) منحني (S-N) لمتراكب الايبوكسي المدعمة بثلاث طبقات من الألياف الكفلر

3-2العينات المدعمة بالألياف الكفلر-49

حيث أظهرت نتائج المنحني (S-N) تحمل إجهاد ابتدائي قدره (40 MPa) وباستمرار الإجهاد الدوري المسلط لهذه العينات نلاحظ إن هنالك انحدار في السلوك وهذا واضح من خلال الشكل (5) ومن ثم الثبات بعدد دورات تجاوز 10^6 دورة حيث تقوم الألياف بتوزيع الإجهاد بالتساوي عبر منطقة السطح البيني (interface) بين الألياف والراتنج وذلك يعتمد على قوة التماسك بين الألياف والراتنج رغم إن العينة تحت حمل دوري متغير حيث إن الطبقات تعاني انزلاق واحتكاك (*slipping and friction*) مع بعضها خلال الفحص الذي يسبب انسلاخاً في الطبقات السطحية في الاجهادات العالية (delamination). [6]



الشكل (6) قيم أقصى إجهاد لمتراكب الايبوكسي قبل وبعد التدعيم بألياف الكفلر والزجاج لقيم انفعال (def=10mm)



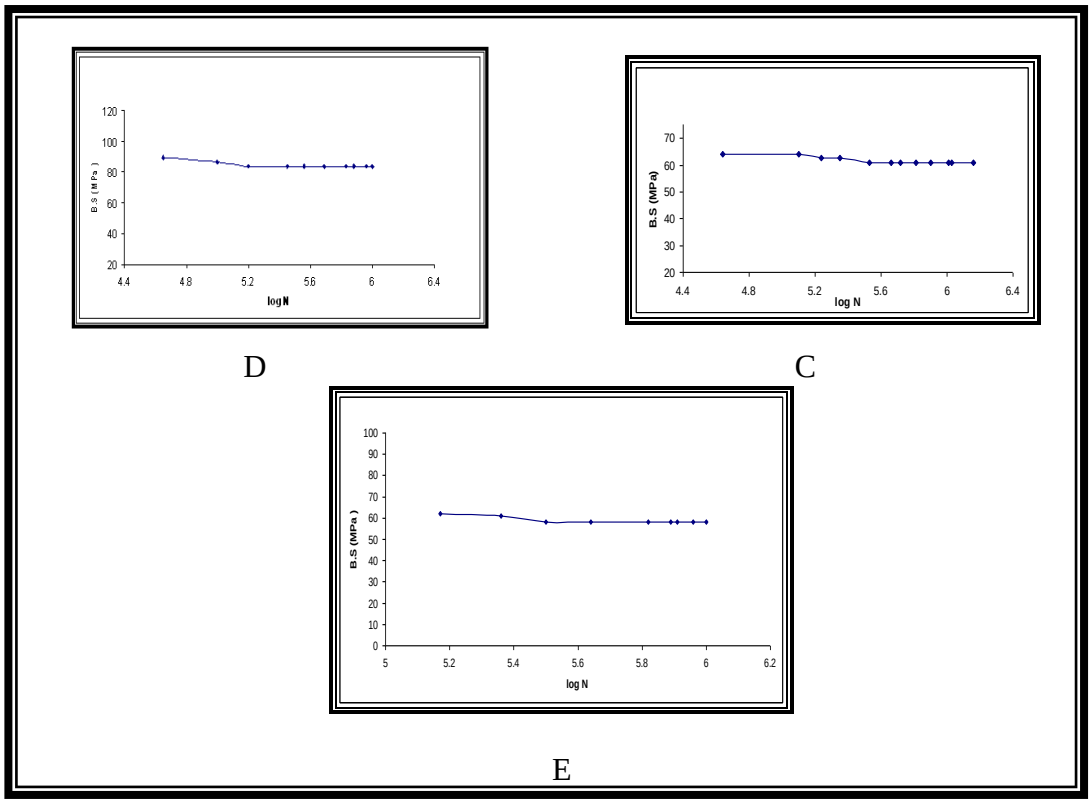
الشكل(7) يوضح(A) الصور الفوتوغرافية لمتراكب الايبوكسي المدعمة بثلاث طبقات من ألياف الكفلر بعد اختبار الكلال(B) الفوتوغرافية لمتراكب الايبوكسي المدعمة بثلاث طبقات من ألياف الزجاج بعد اختبار الكلال

3-3 مناقشة نتائج العينات الهجينة

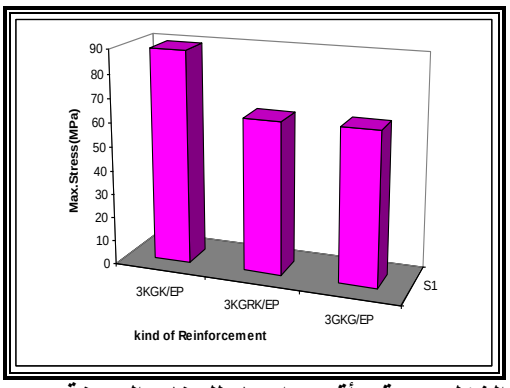
أظهرت النتائج المختبرية الموضحة في الجدول (2) والموضحة في الشكل (8) إن العينة ذات التهجين 3KGK/EP أفضل مقاومة للكلال عن باقي الهجائن وذلك من خلال مقاومتها العالية عند تسليط إجهاد ثني ابتدائي قدره (89.3MPa) وذلك يرجع إلى وجود طبقتين من الألياف الكفلر وبينهما طبقة من ألياف الزجاجية التي تتمايز بامتلاكها قوة تلاصق عالية [12] (good adhesive) فضلاً عن ذلك تحمل ألياف الكفلر ذات المرونة العالية عدد دورات كبيرة جدا تجاوز(1.3×10^6) دورة دون حدوث أي شق سطحي للراتنج حيث يعد الإجهاد المسلط على العينة ضمن مدى تحمل تلك الألياف القوية (endurance) اذ تقوم الألياف بتوزيع الإجهاد بالتساوي عبر منطقة السطح البيني (interface) بين الألياف والراتنج وخاصة إن كلا النوعين محاكة بالاتجاه نفسه (0-90) اذ باستمرار الحركة الدورية للطبقة الوسطية (intelaminar) التي تحاول إن تسيطر على التوسعات الطبقية الناتجة من انزلاقها واحتكاكها (slipping and friction) مع بعضها خلال الفحص في إثناء الاجهادات العالية .

جدول (1-2) قيم اقصى احهاد للعينات الهجينة

Sample Type	Deflection (mm)	Orientation	Max .Stress (MPa)
3KGK/EP	15	0_90	89.3
3KGRK/EP	15	0_90	64
3GKG/EP	15	0_90	64



الشكل (8) يمثل :C - منحني (B.S-N) للعينة 3KGK/EP D - منحني (B.S-N) للعينة 3KGRK/EP
E - منحني (B.S-N) للعينة 3GKGLEP



الشكل (9) قيم أقصى إجهاد للعينات الهجينة

4-الاستنتاجات:

1- لوحظ تأثير التدعيم بالألياف في تحسين مقاومة الكلال مما يؤكد التأثير الايجابي لعملية التدعيم .

2- إن ألياف الزجاج أعلى قوة كلل (fatigue strength) من ألياف الكفلر.

3- هنالك انحدار في المنحني بالنسبة لألياف الكفلر قبل الوصول إلى مرحلة الثبات بينما في العينات المدعمة بألياف الزجاج هنالك نوع من الثبات والاستقرار قبل الثبات والذي يتمثل ب (Fatigue Life) ، ويعود ذلك إلى

a. امتلاك ألياف الزجاج سطح بيني أفضل من السطح البيني لألياف الكفلر

b. الملائمة الكيمائية العالية لألياف الزجاج حيث تطلى سطوح الألياف بمواد كيماوية تساعد على الترابط الجيد بين الراتنج والليف في منطقة السطح البيني(Interface)

4- نلاحظ من خلال المنحني (S-N) إن قيمة (Fatigue Life) للعينات المدعمة بألياف الزجاج أعلى من العينات المدعمة بالألياف الكفلر بشكل بسيط نسبياً مما يدل على العمر الطويل في الأداء لكلا الليفيين .

5- العينة ذات التهجين 3KGK/EP أفضل مقاومة للكلال عن باقي الهجائن ويرجع سبب ذلك الى قوة الترابط البيني للطبقة الوسطية

(intelaminar) فقوة تلاصق (Interface) لألياف الزجاج أفضل من ألياف الكفلر وخاصة عندما تكون طبقات

6- ألياف الزجاج في قلب (core) المتراكب .

المصادر :

[1] Michael F.Ash & David R.H. Jones ,(1999) , " Engineering Materials 2 " Cambridge university /England.

[2] Deboarah D.L.Chung, (1994) , " Carbon Fiber Composite " Butterworth – Heinemann ,

[3] James F. Shackelford , (2009), " Introduction Material Science For Engineers" University of Califon by Peason Enduction.

[4]A . Bezazi , A . El Mahi , J . M . Bert helot , A . Kondratas,(2003) "Investigation of Gross – ply Laminates Behavior in three point Bending Tests" ISSN 1392 – 1320 MATERIALS science . Vol . 9 , No . 1

[5]Timothy James Wilson,(2007), " Modeling Of In- Plane & Intelaminar Fatigue Behavior Glass & Carbon Fiber Composite Material" Master Thesis in Mechanical Engineering MONTANA STATE UNIVERSITY Bozeman, Montana .

[6] E . C . Botelho , R . L . Mazur , - M . L . Casta , G . M . Candido , M . C . Rezend (2009), "Fatigue behavior study on repaired aramid fiber/ epoxy Composites" Journal of Aerospace Technology & Management , Vol . 1 , No . 2 , Jul – Dec .

[7] J M Hodgkhinson ,(2000), " Mechanical Testing Of Advance Fiber Composites" Woodhead Publishing Ltd &CRC Cambridge, England press LLC

[8]William D. Callister,Jr,(2010) " Material Science & Engineering An Introduction " John Wiely & Sons, Inc., (USA) , .

[9]Bryan Harris," Fatigue In Composites " CRC Press, CambridgeEngland , (2003) .

[10] John C. R. & Donald R.A.," Materials Science, The Science & Engineering of Materials", 4th edition, University of Pittsburgh,PA, Brooks/Cole (Thomson Learning), (2003).

[11]David Roylance2000 " Introduction To Composite Materials "

[12] Donald R.Askeland & Pradeep P.Phule,(2004) ,"The Science & Engineering Of Material" 4th ed. PWC .

Study of Fatigue and Bending Properties For Epoxy / Kevlar - Glass Fibers and Hybrid Composite

*Khalid R. Al-Rawi** *Harath I.Jaffa*** *Hind W. Abdullah****

* Dep. of Physics, College of Science for woman, University of Baghdad
** Dep. of Physics, College of Science, University of Baghdad
*** Dep. of Physics ,College of Science, University of Diyala

Abstract:

In this research a study of the effect of quality, sequential and directional layers for three types of fibers are:(Kevlar fibers-49 woven roving and E- glass fiber woven roving and random) on the fatigue property using epoxy as matrix. The test specimens were prepared by hand lay-up method the epoxy resin used as a matrix type (Quick mast 105) in prepared material composit .

Sinusoidal wave which is formed of variable stress amplitudes at 15 Hz cycles was employed in the fatigue test (10 mm)and (15mm) value 0f deflection arrival to numbers of cycle failure limit, by rotary bending method by (**S-N)** curves this curves has been determined (life , limit and fatigue strength) of composite . The results show us the reinforcement has important act to increased resistance to the fatigue compared with specimens have non reinforcement this side the specimens reinforcement of glass fiber have resistance to fatigue and fatigue life better than the specimens reinforcement of Kevlar fiber .

According to hybrid composite sample fatigue test results showed that the sample which reinforced (Kevlar - regular glass – Kevlar) has a best results which showed stress carrying the most powerful and longer fatigue life with more than (1.3×10^{6}) cycle from other hybrids , while the sample with the sample with three Kevlar reinforced layers have less resistant to fatigue