

دراسة اختباري الشد والكلال لمادة الايبوكسي ومترابكباتها الهجينية

رغد حامد هلال / مدرس

قسم هندسة الانتاج والمعادن / الجامعة التكنولوجية

الخلاصة :

تم في هذا البحث استخدام راتنج الايبوكسي (HY956 , CY223)

[Digly Cidyle ether of Bipherio ADGEBA CY 223]

المجهز من شركة (Giba –Giegy) الالمانية وهو سائل لزج ذو مواصفات معينة ومنها قابلية التصاق عالية ، إضافة الى قلة الانكماش عند الجفاف ، أما المصلد المستخدم فهو HY956 ، يضاف المصلد الى الراتنج بنسبة (1 : 3) ، أما الراتنج فهو ذو كثافة مقدارها (1150 kg/m³) كمادة أساس مدعمة بنوعين من الالياف هما ألياف الزجاج نوع (E-glass) والياف الكربون (HS) (High Strength) ونسبة عدد طبقات الياف الكربون الى الزجاج (5 : 1) وبكسر حجمي (30%) في درجة حرارة الغرفة لدراسة اختباري الشد والكلال . وقد لوحظ ان مقاومة الشد للمادة المدعمة او المترابكة اعلى منها في حالة المادة البوليمرية لوحدها بسبب مقاومة الالياف (خصوصاً الياف الكربون لامتلاكها خواص جيدة) . أما بالنسبة لاختبار الكلال تبدي المادة المترابكة مقاومة جيدة للكلال مقارنة بالمادة البوليمرية لوحدها حيث ان قوة او مقاومة الياف الكربون للكسر عند الدورات القليلة يؤدي الى عدم تعرض المادة المترابكة للكسر . اما في الدورات العالية فأن مقاومة الكلال للمادة المترابكة تبقى على الاغلب ثابتة او تتغير ببطيء مع زيادة عدد دورات الكسر وباعتماد على نسبة التدعيم .

Abstract

This research is concerned the use of Epoxy resin(Cy223 ,Hy956)which supplied from (Giba –Giegy) German company .It is a viscouse liquid have a certain properties like high adhesives and low shrinkage at dry condition with addition of the hardener at ratio (1:3) of the resin with density about (1150 kg/m³) , the matrix resin forced with two type of fibers : glass fiber(E-glass) and carbon fiber (HS)(High Strength) ,the ratio of carbon fiber layers to glass fiber layers is (1:5) with volume fraction (30%) at room temperature to study tensile and fatigue tests. It is noted that the composite materials appears better resistance to the tensile test than the resin due to the resistance of fiber(especially carbon fiber which have a good mechanical properties) .

In the fatigue test , the composite material show good strength to break because of the resistance of carbon fiber at low cycle . The resistance to break remains constant or changed slowly with increasing cycle of fatigue strength depending on supporting ratio.

Keyword: Epoxy resin ,glass fiber ,carbon fiber ,tensile test ,fatigue test .

قائمة الرموز

HE	: اعلى استطالة للألياف (high elongation of fiber)
LE	: أقل استطالة للألياف (low elongation of fiber)
V_{LE}	: الكسر الحجمي ل (LE)
V_{HE}	: الكسر الحجمي ل (HE)
σ	: الاجهاد للمادة المترابكة المدعمة هجينياً
ϵ	: الانفعال
E	: معامل يونك (Young's Modulus)
S	: أعلى قيمة لدورات الإجهاد
N	: عدد الدورات
a,b	: ثوابت

المقدمة

تعد المواد المترابكة ذات الاساس البوليمري من المواد الحديثة التي تلعب دور اساسي في معظم مجالات الهندسة والتكنولوجيا ، اذ ان استخدام هذه المواد يتطلب امتلاكها متانة جيدة واداء تقني عالي لتقاوم الاجهادات الخارجية المؤثرة عليها بالظروف المحيطة بها من درجة حرارة ، ضغط ورطوبة وغيرها [1] . ان الخواص الميكانيكية لهذه المواد يعتمد على عوامل متعددة منها الكسر الحجمي ، نوع الليف ، اتجاهه وشكله والعامل الاهم هو السطح البيني وقوة الترابط بين المادة الاساس (Matrix) والمادة المدعمة (Reinforced) [2] ، فالسلوك الميكانيكي والذي يكون مرتبطاً بالاجهاد المسلط الذي قد يكون ثابت في بعض الاختبارات مثل اختبار الشد ، الكلال ، الصدمة وغيرها يساهم في تعيين جودة وسلامة الاجزاء المصنعة من هذه المواد بالاعتماد على معامل يونك (young's Modulus) والذي يعرف على انه النسبة بين الاجهاد المسلط والانفعال في المنطقة المرنة من منحنى (الاجهاد - الانفعال) [3] . وتتأثر المواد المختلفة بالمحيط الذي يكون في حالة تلامس مباشر معها وقد يكون التأثير بسيطاً جداً بحيث لا يؤثر بشكل محسوس على متانة هذه المادة او قد يكون شديداً جداً بحيث يؤدي الى انهيارها او تلفها ، وبناءً على ذلك فان اختيار المادة المناسبة لتأدية مهمة معينة يجب ان يتم وفقاً لاعتبارات معينة . فبالإضافة الى الخواص الميكانيكية والحرارية والتآكلية من جراء المحيط تتعرض الاجزاء الهندسية اثناء فترة الخدمة الى احمال ساكنة (Static Load) واهمال ديناميكية (Dynamic Load) وبشكل دوري وبظروف بيئية محيطة تسبب فشل الاجزاء الهندسية وبحمل اقل من الحمل السكوني المستقر اللازم للكسر . وتدعى هذه الظاهرة بفشل الكلال (Fatigue Failure) والذي يعتبر من اكثر انواع الفشل وخطرها حيث ان معرفة عمر الاجزاء المعرضة للكلال او الشد في ظروف الحمل المتغير من الامور

المهمة جداً في التصميم وخاصة عندما تكون الحسابات المتعلقة بالطائرات او السفن حيث ان أي إهمال او تقصير فيها يؤدي الى حدوث كارثة والى هدر في حياة الانسان .

ولمعرفة تأثير الوسط المادي المحيط على مادة الايبوكسي المدعمة تم استخدام وسطين مختلفين هما (الماء المقطر والهواء) وبيان تأثيرهما على مقاومة الشد القصوى وعمر الكلال وعدد الدورات لمادة ايبوكسي مدعمة هجينياً بألياف الكربون والزجاج وبينت النتائج عدم حصول تغيير في عمر الكلال بالنسبة للتدعيم بألياف الزجاج فقط والألياف الزجاج والكربون معاً في الوسطين اما بالنسبة لمقاومة الشد القصوى فتكون عند استخدام الماء اقل بنسبة (45-65%) من استخدام الهواء [4] .

اما الباحث *Wang et al* فقد بين تأثير الرطوبة السلبي على الخواص الميكانيكية للمواد المتراكبة مثل الشد والكلال وزيادة المقاومة النوعية لمادة الايبوكسي المدعم هجينياً بألياف الكربون بسبب حدوث تمدد في المادة الاساس عند السطوح البينية [5] . ان الفشل الذي يحدث في المعدن بسبب الكلال ينتج عن احمال متغيرة او متناوبة بحيث ان اعلى حمل كافٍ لاحداث الكسر بهذه الطريقة اقل بكثير من الحمل المستقر اللازم للكسر . ان خطورة الفشل بالكلال تكمن في عدم حصول تشوهات ظاهرية في منطقة الكسر حتى في المعادن مثل الفولاذ الطري الذي يعتبر مطيلاً عند الكسر بحمل مستقر وهذه واحدة من مخاطر الكلال لعدم وجود دلالة اولية الى لحظة حدوث الكسر [6] .

تم دراسة اختباري الشد والكلال لقلابين مصنوعين من مادة الايبوكسي والاييبوكسي المدعم بألياف الزجاج والألياف الكربون وبشكل طبقات ومعرفة تأثير الحمل المسلط عليها .

الجزء النظري

يلعب التدعيم دور أساسي في تحديد الخواص او التصرف الميكانيكي للمواد المتراكبة حيث يعتبر التدعيم بالالياف مثل الياف (الزجاج والكربون) من اهم العوامل المؤثرة على تحسين خواص المواد المتراكبة لما تمتلكه هذه الالياف وخصوصاً الياف الكربون من صفات جيدة مثل مقاومتها للشد والصدمة وغيرها من الخواص سواء كانت هذه الخواص ميكانيكية او حرارية ، حيث يمثل اتجاه الليف محور رئيسي في تحسن هذه الخواص بالاعتماد على توزيع الحمل المسلط حسب اتجاه الليف (المادة المدعمة) [7، 8] .

أما بالنسبة للاختبارات التي تم اجرائها في البحث فهو اختبار الشد حيث يمكن دراسته من خلال المعادلات التالية :-

$$\sigma_{hybrid} = \sigma_{LE_{MAX}} V_{LE} + \epsilon_{LE_{MAX}} E_{HE} V_{HE} \dots\dots\dots (1)$$

يمكن ايجاد معامل يونك بأخذ ميل الخط المستقيم لمنحني (الاجهاد - الانفعال) من خلال قسمة قيم الاجهاد او الانفعال في منطقة التناسب

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\sigma_{\text{hybrid}} = \sigma_{\text{HE}_{\text{MAX}}} V_{\text{HE}_{\text{MAX}}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

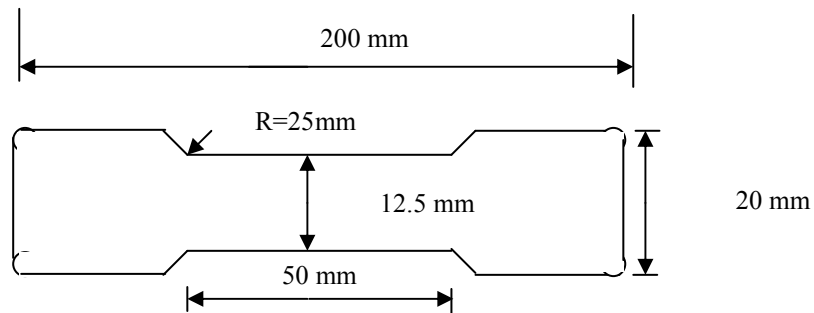
أما بالنسبة لاختبار الكلال (Fatigue) والذي يعتبر التغير في تركيب المادة في مواقع مختلفة نتيجة تعرضها للاجهادات المتناوبة والتي تنتهي بالتكسر أو التصدع أو التشقق بعد عدد معين من الدورات بما يلائم ومتطلبات كل مادة بالاعتماد على نوع التدعيم ويسمى هذا العدد من الدورات بعمر الكلال (Fatigue life) [7 ، 8] ويعبر عن الكلال بصورة عامة بالمعادلة التالية :-

$$S = a + b \log N \quad \dots\dots\dots (4)$$

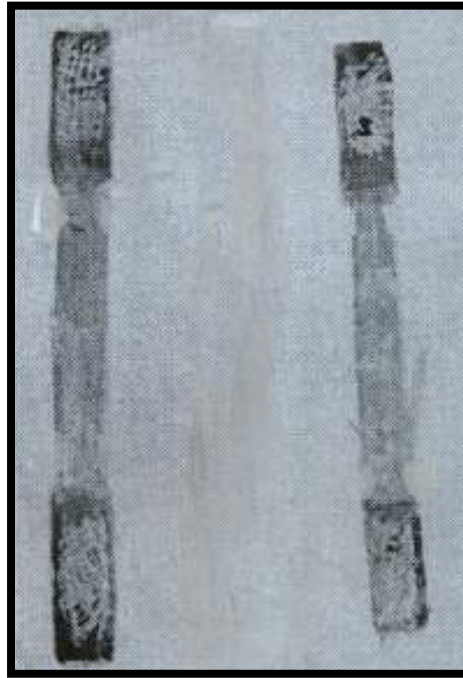
الجزء العملي

تم استخدام طريقة القولية اليدوية [Hand layout] لتصنيع القوالب المستخدمة في البحث، القالب الاول مكون من راتنج الايوكسي (Hy956 , Cy223) واضيف اليه المصلد بنسبة (3:1) من الراتنج وكثافة مقدارها (1150 kg/m³) لوحدها ، والقالب الثاني مكون من مادة الايوكسي (المادة الاساس) ومدعمة هجينياً بألياف الزجاج (E-glass) والياف الكربون (HS) (High strength) وبشكل طبقات الياف الكربون الى الزجاج (1:5) وبكسر حجمي (30%) حيث تكون النسبة الأكبر لالياف الكربون في درجة حرارة الغرفة وتقطيعهما الى كل من :

- 1- عينات اختبار الشد : قطعت عينات هذا الاختبار حسب مواصفات الـ ASTM , VOL (03.01) , 103.02 EBM كما موضح في الشكل (1)



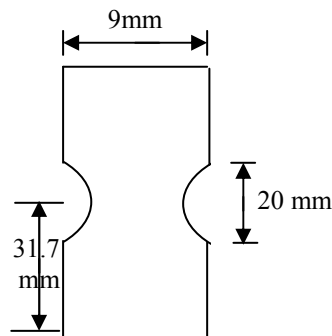
شكل (1) عينة اختبار الشد



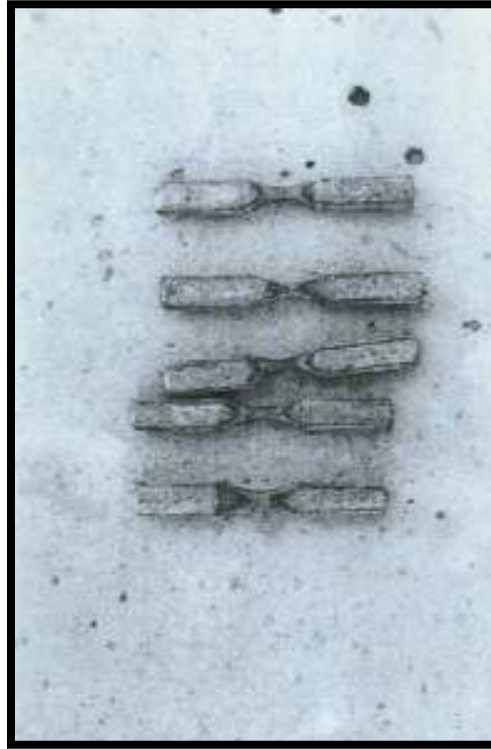
شكل (2) يمثل صورة عينة اختبار الشد

وعند اجراء التجربة يتم قياس التغير الحاصل في طول العينة مقابل الحمل المسلط وكذلك حساب معامل يونك (Young's Modulus) ورسم منحنى الاجهاد - الانفعال .

2- عينات اختبار الكلال : اخذت عينات من المصبوتين وقطعت الى اطوال قياسية كما موضح في الشكل (3) وحسب مواصفات الـ ASTM Metals Hand Book (08) وحسب مواصفات جهاز اختبار الكلال من نوع (Avery 7305) والذي يعمل بطريقة الانحناء المتعاكس (Reversd Bending) في تنفيذ كافة اختبارات الكلال الثابتة والمتغيرة السعة ، وبعد ذلك يتم تثبيت احد العينات في فكي الجهاز بأحكام والذي يكون احدهما دوار والثاني تتعلق فيه الاحمال مع تعليق ثقل الموازنة في الطرف الآخر ، بعدها يتم تشغيل الجهاز حتى تكسر العينة وانطفاء الجهاز بصورة اوتوماتيكية ، بعدها تكرر العملية للعينات المتبقية .



شكل (3) عينة اختبار الكلال



شكل (4) صورة عينة اختبار الكلال

النتائج والمناقشة

تم اجراء (22) تجربة لقيم مختلفة من الاحمال المسلطة تتراوح بين (17 KN - 3) في اختبار الشد ، فكانت النتائج كالتالي :

من الشكل (5) نلاحظ انه بزيادة الحمل المسلط تزداد الاستطالة في طول العينة وتكون الاستطالة في المادة البوليميرية لوحدها اكبر منها في المادة المتراكبة وذلك بسبب مقاومة المادة المدعمة للحمل المسلط عليها اعتماداً على اتجاه الالياف (علماً ان الياف الكاربون تمتلك خواص ميكانيكية افضل من الياف الزجاج) .

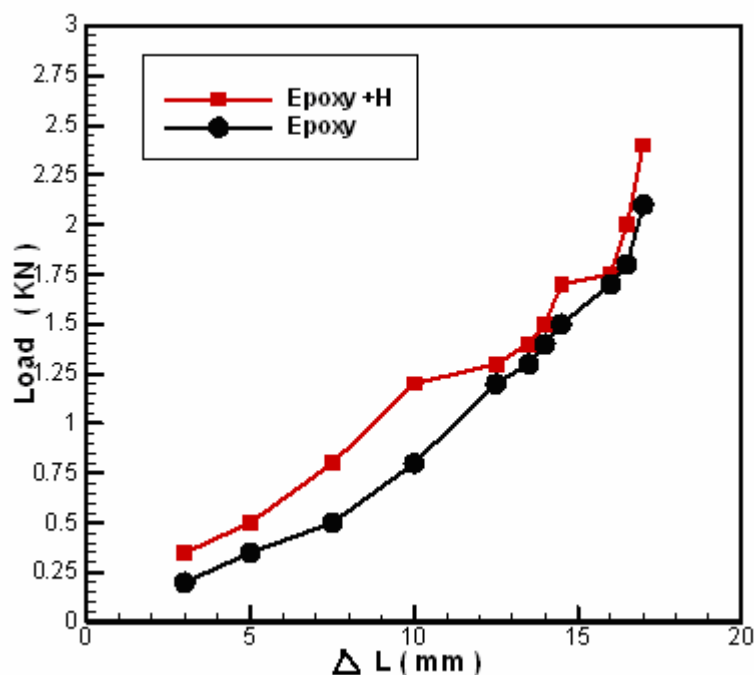
اما في الشكل (6) ، فنلاحظ ظهور ثلاث مناطق في المنحني حيث تبدي المواد المتراكبة المقواة بالالياف ثلاث مراحل لمنحني اجهاد - انفعال ، ففي الجزء الاول من المنحني ينفع كل من المادة الاساس والليف بصورة مرنة وعند هذا الجزء تستعيد المادة ابعادها بشكل كلي عند زوال الحمل المسلط . اما في الجزء الثاني من المنحني يتناقص ميل المماس للمنحني تدريجياً ويظهر هذا الطور بظهور تكسرات في المادة الاساس في مستويات عمودية على محور الالياف . ان فشل المادة الاساس تكون بقيمة انفعال اقل من الانفعال الذي يفشل عنده الليف ونتيجة ذلك يظهر في هذه المرحلة من كتل المادة الاساس وتكون مترابطة بواسطة حزم من الالياف المستمرة وهذا يكون مصحوباً بانفعال وانزلاق على طول منطقة التلامس بين المادة الاساس والليف ، اما الجزء الثالث للمنحني يبدأ عند حصول انزلاق

على طول منطقة التلامس بين المادة الاساس والليف . ويحسب معامل يونك للمادتين من ميل المنحني المبين في الشكل (6) فيكون لمادة الايبوكسي لوحدها (0.125) ، وللمادة المتراكبة (0.132) اي بزيادة مقدارها (5.6 %) .

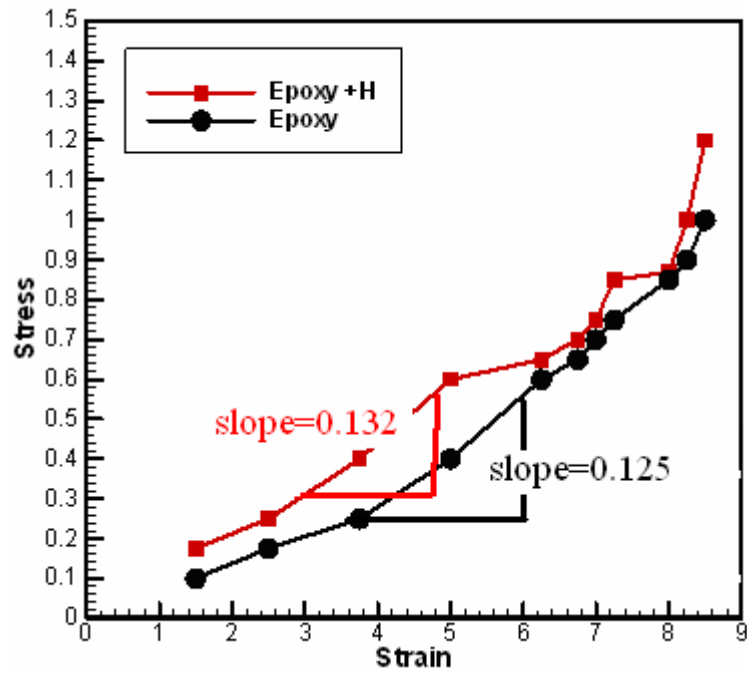
تم اجراء (12) تجربة عملية لايجاد اختبار الكلال والفرق في عدد الدورات بين المادة البوليميرية والمادة المتراكبة اللازمة لحصول الكسر وعلاقتها مع الحمل المسلط حيث يلاحظ في الشكل (7) انه بزيادة الحمل المسلط سوف يقل عدد الدورات اللازم لحصول الكسر وهذا يعود الى مقاومة الالياف للاجهاد المسلط عليها حيث تزداد هذه المقاومة عندما يكون اتجاه الحمل المسلط موازي لاتجاه الليف علماً ان اليف الكربون تمتلك مواصفات جيدة من حيث الكثافة ومقاومة الشد ومعامل المرونة ومعامل التوصيل الحراري وغيرها . اما في حال المادة البوليميرية لوحدها نجد ان عدد الدورات اللازمة لحصول الكسر تكون اقل منها في المادة المتراكبة .

الاستنتاجات:

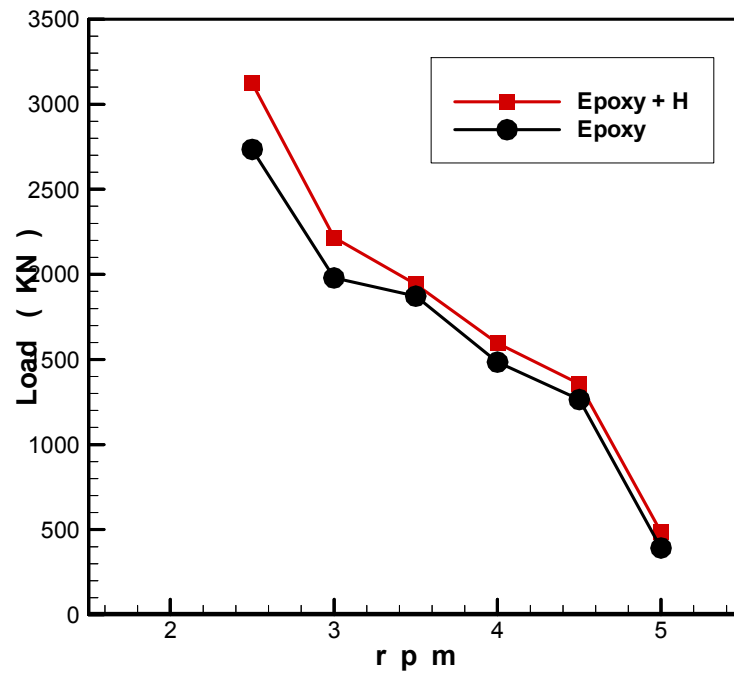
بينت النتائج التأثير الايجابي للتدعيم بنوعين من الالياف والتي تم استخدامها في البحث ، فبالنسبة لاختبار الشد تم التوصل الى ان الاستطالة في المادة البوليميرية هي اعلى منها في المادة المتراكبة ، والذي بدوره يرفع من قيم معامل يونك بالنسبة للمادة المتراكبة ، اما اختبار الكلال فقد لوحظ ان المادة المتراكبة تحتاج الى عدد كبير من الدورات لحدوث الكسر ولنفس الحمل المسلط مقارنة مع المادة البوليميرية لوحدها عند نفس ظروف التشغيل ، وهذا يطابق ما توصل اليه الباحثون [9 ، 10] الى انه تدعيم المواد البوليميرية بأنواع مختلفة من التدعيم يحسن من الخواص الميكانيكية لها .



الشكل (5) يبين العلاقة بين الحمل المسلط والتغير في طول العينة في اختبار الشد



الشكل (6) يبين منحنى اجهاد - انفعال للمادة المترابكة ومادة الايوكسي لوحدها



الشكل (7) يمثل العلاقة بين الحمل المسلط وعدد الدورات في اختبار الكلال

المصادر

- 1- ناصر عبد الله ، " دراسة الخواص الميكانيكية لمواد مركبة " ، رسالة ماجستير ، علوم تطبيقية – الجامعة التكنولوجية ، 1992 .
- 2- M.O.W. Richardson , " Polymer Engineering Composite " , Applied Science Pub–London , 1987 .
- 3- R. C. Hibbeler , " Mechanics of Materials " , Third Edition , Russell C.H. , Published by Prentice Hall , Inc. 1997 .
- 4- Y. Shan and K. Liao "Environmental fatigue of unidirectional glass carbon fiber reinforced hybrid composite " , School of Materials Engineering , Nanyang Technological university , 2001 .
- 5- S. Wang and D. Chung , " Effect of moisture on the inter laminar interface of carbon fiber polymer – matrix composite , studied by contact electrical resistivity measurement " , Composite interfaces , Vol. 9 , No. 5 , pp (453 – 458) , 2002 .
- 6- K. G. Satyanarayana , K. Sukumaran , A.G. Kulkarni , S.G.K. Pillai and P.K. Rohatgi , " Fabrication and Properties of natural Fiber – reinforced Polyester Composite " , Composite , Vol. 17 , No. 4 , 1986 .
- 7- A. Patnaik ,A. Satapathy,S.S.Mahapatra and R.R.Dash," A computeive study on different ceramic fillers affecting mechanical properties of glass polyester composite " , Amorrecent version of this article was published on [05 – 22 – 2009] .
- 8- A.Peijis and J.Dekok, "Hybrid composite based on polyethylene and Carbon fiber ",Part 6 :Tensile and fatigue behavior , composite , Vol.24,No.1,p.p (19-31),1993.
- 9- Ernad S.AL-Hassni,"Study of Tensile and Hardness property for Epoxy Reinforced with Glass layers ",PRD,ET 25-8-2007 .
- 10- Z.K Muhannad , " Fatigue study of E-glass Fiber Rreinforced polyester composite under fully reversed lading and spectrum loading ",university of Tech .Eng. & Tech.,Joun,26-10-2008