

دراسة تأثير عدد طبقات التسليح للألياف الزجاجية في مادة البولي استر على خصائص الكلل

محمد غازي حمد، مدرس سليمان عناد مناور، مدرس مساعد عامر مصطفى رشيد، مدرس مساعد
قسم الفيزياء/ كلية العلوم/جامعة الأنبار قسم الميكانيك /كلية الهندسة/جامعة تكريت

الخلاصة

يتضمن البحث دراسة تأثير تدعيم الألياف الزجاجية في خصائص الكلل للمواد المتراكبة إذ تم استخدام رانتج البوليستر كمادة رابطة لنوعين من الألياف لغرض التدعيم هما : النوع الأول هو الألياف الزجاجية المتضمنة ذات اتجاه (0-90) اما النوع الثاني فهو الألياف الزجاجية عشوائية الاتجاه. صنعت الألواح من المتراكبات. كما تم تقطيع الألواح إلى عينات لغرض أعدادها للفحص وفقا لمواصفات الجهاز المستخدم كالأتي: (1-2) طبقة من الألياف المنتظمة (0-90)، و(1-2) طبقة من الألياف العشوائية وذلك لفحص تأثير زيادة عدد الطبقات في خاصية الكلل. وقد تبين ان عدد الدورات يقل عند زيادة عدد طبقات التسليح الى حد الكلال بالنسبة للعينات المسلحة، وان عدد الدورات الى حد الكلال يقل بالنسبة للعينات ذات الطبقتين من التسليح العشوائي (random) مقارنة مع العينات ذات الطبقة الواحدة، وان المرونة واجهاد اللي يتأثران بأزدياد عدد الطبقات.

الكلمات الدالة: الألياف الزجاجية، أعمار الكلل، حد الكلل، البولييمرات، البولي أيستر

Study of the Effect of Reinforced Glass Fibers on Fatigue Properties for Composite Materials

Abstract

This research included the study of the effect of reinforced glass fibers on fatigue properties for composite materials. Polyester resin is used as connective material(matrix) in two types of glass fibers for reinforced. The first type is regular glass fibers (woven roving) with the directional(0-90), the second is glass fibers with the random direction. The first type is the panels with regular reinforced (0-90), and with number of layer (1,2).

The second type is the panels with random reinforced and with number of layers (1,2). The results and the laboratory examinations for the samples reinforce with fibers have manifested (0-90) that there is a decrease in the number of cycles to the fatigue limit when the number of reinforce layers have increased. And an elasticity of this type of samples are decreased by increasing the number of reinforced layers with fiber. We find the random reinforced number of fatigue cycles for the samples with two layers of random reinforced are decreased more than the samples with one layer of random reinforced.

Key Words: Glass fibers, Fatigue, Composite materials.

قائمة الرموز

الرمز	المعنى	الوحدة
B	عرض العينة	مليمتر

E	معامل يونك	نيوتن/متر	n	عدد الدورات	دورة
$E_{composite}$	معامل يونك للمادة المتراكبة	نيوتن/متر مربع	P	الحمل	نيوتن
E_f	معامل يونك للألياف (fiber)	نيوتن/متر مربع	t	سمك العينة	مليمتر
E_m	معامل يونك للمادة الأساس (Matrix)	نيوتن/متر مربع	V_f	التكسر الحجمي للألياف الزجاج	
E_{ϵ}	معامل يونك للانفعال الاسمي للليف	نيوتن/متر مربع	ϵ	الانفعال الاسمي للليف	-
E_{δ}	معامل يونك للانحراف	نيوتن/متر مربع	δ	الانحراف	-
$E_{\sigma m}$	معامل يونك للمادة الأساس (Matrix)	نيوتن/متر مربع	σm	أجهاد المادة الأساس	نيوتن/متر مربع
L	طول العينة	ملمتر	σf	أجهاد الألياف	نيوتن/متر مربع

المقدمة:

المواد المتراكبة

من البلاطين التي تحوي أسفلها ثقوب ضيقة يتم الحصول منها على الخيوط الزجاجية الدقيقة تلف بواسطة بكرات تدور بسرعة تتراوح بين (1000-2000 دورة/دقيقة) [2]

إن معظم ألياف الزجاج تتكون في الأساس من السليكا مع إضافة أكسيدات من بورون الكالسيوم والصدويوم والحديد بالإضافة إلى الألمنيوم. هناك ثلاث أنواع من الألياف الزجاجية غالباً ما تستخدم في تدعيم المتراكبات وهي:

أ- E-glass (electric grade)

ب- s-glass (high strength)

ج- الكوارتز

كما يبين الجدول (1) أهم الخصائص الفيزيائية والكيميائية والكهربائية والحرارية للأنواع الثلاثة من ألياف الزجاج [4]

في عام (1999) قدم كل من (Christopher M. Pasyore and Frank K. Ko) بحثهم في إمكانية استخدام المتراكبات المسلحة بالصفائر الهجينة لإصلاح وترميم الجسور. إن فعالية هذا البحث تكمن في تطوير مفهوم السلوك الميكانيكي لقضبان المتراكبات الهجينة وربط هذا السلوك بشتى أساليب (الطرق) النسيج [5].

في عام (2000) أجريت دراسة من قبل (W R Broughton and M J Lodrirom) حول تقنيات امتصاص الماء في المواد المتراكبة البوليمرية المدعمة بالليف، وقد بين في هذه الدراسة إن مدى الرطوبة الممتصة من قبل المادة المتراكبة ونسبتها

تعددت استخدامات المواد المتراكبة (البوليمرات المسلحة) وتتنوع بحيث شملت معظم النواحي العمرانية مثل الجسور والبيوت وكذلك المركبات الفضائية والسيارات والطائرات وغيرها من الاستخدامات العديدة. ويرجع السبب في ذلك إلى خفة الوزن والمقاومة العالية للمواد الكيميائية وقوتها الميكانيكية العالية، والمتمثلة بالجساءه وإجهاد الخضوع والمتانة والقوة والمقاومة للكلل والزحف [1] بالإضافة إلى سهولة تشكيل هذه المواد لذلك دخلت المواد البوليمرية المسلحة بالألياف بدلا من العديد من المواد التقليدية كالحديد والألمنيوم والخشب والطابوق. تتكون هذه المواد من مادة أساسية تربط الألياف (مواد التسليح) تدعى بالمادة الرابطة (matrix). تسليح هذه المواد بالألياف أو الجسيمات أو الصفائح التي تعطي مواصفات ميكانيكية مغايرة لأصلها [2].

الراتنجات

الراتنجات هي مواد بوليميرية معقدة تدخل بشكل كبير ضمن المواد الأولية لصناعة اللدائن وكذلك تعد من المواد الأساسية في تشكيل المتراكبات وتكون السلاسل المكونة للراتنجات بشكل غير بلوري [3]

الألياف

تصنع الألياف الزجاجية من منصهرات الزجاج في منظومات وأفران خاصة يصب في حاويات مصنوعة

ذات الجزء الحجمي (V_f) من الألياف بموازاة الألياف فمن الطبيعي الافتراض بأن معامل الإجهاد للمترابك هو [3,8]:

$$\sigma = V_f \sigma_f + (1 + V_f) \sigma_m \dots \dots \dots (1)$$

$$\sigma = E_f V_f \epsilon_m + E_m (1 - V_f) \epsilon_m \dots \dots \dots (2)$$

وبما أن:

$$E_{composit} = \frac{\sigma}{\epsilon_m} \dots \dots \dots (3)$$

إذن:

$$E_{composit} = V_f E_f + (1 - V_f) E_m \dots \dots \dots (4)$$

عمل المادة الرابطة في المواد المترابكة

أن عمل المادة الرابطة في المترابكات هو ربط الألياف مع بعضها البعض. وهذا يعني أن المادة الرابطة تضيف متانة إلى المادة المترابكة من خلال نقل وتثبيت الأجهادات المسلطة على المادة المترابكة. أن طبيعة فشل الكلال تعتمد على استتالة المادة الرابطة عند مقدار التمزق كما في المخطط (1) حيث أن الألياف سوف لا تكون مستخدمة كثيرا بالرغم من أن الألياف تكون قوية إلا انكماشه (brittle) أما المادة الرابطة (matrix) فإنها تستطيع امتصاص الطاقة بواسطة التشوه عند تسليط الاجهادات، والشكل يوضح الألياف الزجاج ذات المتانة الواطئة نسبيا. وفي هذه الحالة فإن مقدار التشوهات عند هذه الاستتالة (ϵ_i) يكون أكبر من حد الاستتالة (ϵ_m). كما يتضح أيضا من هذا الشكل إن الألياف الزجاج المدعمة بالمادة الرابطة البلاستيكية سوف تكون متضررة قبل حدوث فشل الكلال النهائي [9,10]

الجانب العملي

المواد المستخدمة

تم استخدام مادة البوليستر لغرض تصنيع العينات مع إضافة مادة مصلبة إليه لغرض التصلب. وهذا الخليط تم استخدامه لعمل المادة الرابطة زيادة على ذلك استخدام الألياف الزجاجية لغرض تسليح المواد

يعتمدان على عوامل تتضمن درجة الحرارة والرطوبة النسبية ومستويات توازن الرطوبة ومساحة السطح المعرضة من المادة المترابكة وحجم الليف والانتشارية^[6].

قدمت الباحثة أوهام محمد عام (2000) دراسة عن تأثير التدعيم بالألياف في الخصائص الفيزيائية للمواد المترابكة، إذ تمت هذه الدراسة باستخدام رانتج البولي استر المشيع كمادة أساسية وأجريت مجموعة من الاختبارات الميكانيكية التي شملت (اختبار الشد والانضغاط والزحف والصدمة والانحناء والصلادة بدرجات حرارة مختلفة) للتعرف على تأثير درجة الحرارة في تلك الخواص^[7]

في علم (2003) قدم Kallol sett and C.Vipulanandan بحثهما عن خصائص الشد والانضغاط لمادة بوليمرية مسلحة بالألياف. إذ أثر السلوك الميكانيكي لمادة البولي استر المسلح بالألياف على خواصه الميكانيكية^[8] وقد درست هذه التأثيرات في مجال المتانة ومعاملات الشد والضغط وقد استخدمت ألياف الزجاج وألياف الكربون للتسليح.

عمل الألياف في المواد المترابكة

تصنع المواد المترابكة وذلك للحصول على مادة ذات خصائص تجمع بين خصائص المواد المكونة لها، وعادة ما تكون المواد المترابكة متكونة من مادتين هما الألياف والمادة الرابطة.

أن الألياف غالبا ما تكون من الزجاج أو الكفلر أوالكربون ، والمادة الرابطة تكون عادة غير مطاوعة للحرارة مثل رانتج الأيبوكسي أو البولي استر. يعمل الليف في المادة الرابطة لكي يجعل المادة الرابطة أكثر قوة . أن المترابكات المدعمة بالألياف تمتلك ميزتين هامتين هما القوة وخفة الوزن وغالبا ما تكون أقوى من الفولاذ وذات وزن أقل منه. أن المواد المترابكة يمكن إن يكون لها معاملات مرونة أكثر بكثير من موادها الأساسية فإذا أجهدنا المادة المترابكة

كما في الشكل (8) ومن ثم حساب كل من الإجهاد المسلط على العينة وطول العينة (L) بعد الانحراف ومعامل يونك (E) للعينة بإتباع العلاقات التالية :

$$\ell = L - h = L - \frac{A^2}{L} \dots\dots\dots (5)$$

$$A^2 = \frac{\pi^2 \delta^2}{16}$$

$$A = 0.795 \delta \dots\dots\dots (6)$$

$$\delta = \frac{GPl}{bt^2} \dots\dots\dots (7)$$

$$E = \frac{\sigma}{1.5t\delta} \ell \dots\dots\dots (8)$$

والشكل (7) يبين صورة بالإبعاد للعينة المستخدمة في الفحص.

النتائج والمناقشة

عينات ذات التسليح المنتظم

لقد أظهرت النتائج والفحوصات المختبرية للعينات المسلحة بالألياف (90-0) إن هناك تناقصاً في عدد الدورات إلى حد الكلال عند زيادة طبقات التسليح كما موضح في الجدول (3). ويعزى السبب في ذلك إلى أن العينات ذات الطبقة الواحدة من الألياف أظهرت مرونة عالية عند إجراء الاختبار حيث أظهرت النتائج في الجدول رقم (4) لهذا النوع من العينة أن مقدار تحملها للكلل أعلى من مثيلاتها من العينات ذات الطبقتين من التسليح (90-0)، والذي أظهرته نتائج الاختبار الموضحة في الجدول رقم (5). والشكل (13) يبين عمر الكلال عند التسليح بطبقتين (90-0) مقارنة مع المخطط (15) لعمر الكلال ذات الطبقة الواحدة (90-0). كما لوحظ أن العينة رقم (23) ذات الطبقة الواحدة من الليف الزجاجي المنتظم (90-0) أظهرت انحرافاً مقداره (12 ملم) عند تسليط حمل مقداره (2 نيوتن) أما في العينات ذات التسليح الأعلى وعند تسليط حمل مقداره (17 نيوتن) فإننا نحصل على نفس

الرابطة للحصول على المادة المتراكبة المعدة للفحص وتكون هذه الألياف على نوعين :

1- منتظم (0-90).

2 - عشوائي.

تصنيع العينات

تم استخدام طريقة التشكيل اليدوي لغرض تصنيع العينات وذلك لسهولة الاستخدام والبساطة وقلّة الكلفة [1]. وقد تم تصنيع عينات ذات الطبقة الواحدة والطبقتين من التسليح بالألياف ذات النسيج المنتظم والعشوائي. وتم حساب نسبة التسليح بالمعادلات التالية:

نسبة التسليح = (وزن ألياف / وزن المتراكم) 100x %

نسبة التسليح = (وزن ألياف / (وزن الليف + وزن الراتنج)) 100x %

ويبين الجدول رقم (2) مخطط توضيحي للعينات المستخدمة في الفحص.

تم استخدام منشارين أحدهما ناعم والأخر خشن في التقطيع. ويمكن ملاحظة العينات المستخدمة في الفحص بالإشكال (2و3 و4 و5) .

الجهاز المستعمل

تم استخدام جهاز اختبار من نوع الانحناء المتناوب بماكينه الكلال نوع (alternating bending fatigue machine) المبين في الشكل (6) والمصنع من قبل شركة (Hi-Tech) في تنفيذ كافة اختبارات الكلال في هذا البحث. لذلك فان الغرض من استخدام هذا الجهاز هو تطبيق ثني متذبذب (متناوب) على قطعة العينة المثبتة من طرف واحد لتحديد أداء الكلال للمادة . والشكل (6) يبين صورة مبسطة لطريقة عمل الجهاز المستخدم في الفحص. فلقد تم تسليط جهاز ثني معروف على العينة المثبتة من طرف واحد وذلك لتسليط حمل مقداره (P) نيوتن والذي تسبب بانحراف العينة بمقدار (δ) ملم

الانحراف، أي أن المرونة عمر الكلال تقل بزيادة عدد طبقات التسليح. لقد أظهرت الصور المهرجية الشكل (9) والمأخوذة للعينه 23 ذات الطبقة الواحدة (0-90) قبل الفحص عدم وجود الشقوق في سطح العينه. لكن عند مقارنتها مع الشكل (10) لنفس العينه بعد الفحص فإنه يتضح أن هناك تشققات موجودة في سطح العينه بعد تشغيلها عدد من الدورات مقداره (4327367) دورة ولم تفشل العينه إلى جزأين. أما العينات ذات طبقتي التسليح (0-90) وكما موضح في الشكل (11) للعينه 37 فأنها توضح شكل للشقوق السطحية وانفصال الجزئين بعد أن سلط عليها حمل مقداره (17 نيوتن) والذي أدى إلى انحراف مقداره (12) ملم مما تقدم نستنتج أن حد الكلال يقل بزيادة عدد الطبقات بالنسبة للتسليح المنتظم (0-90) وبعبارة أخرى أن عدد دورات الكلال يقل بزيادة سمك العينه بالنسبة للعينات ذات التسليح المنتظم [11]

ومن ناحية أخرى وعند ملاحظة الجدول (2-3) نجد أن العينه 23 ذات الطبقة الواحدة للتسليح المنتظم (0-90) مقدار معامل المرونة 1،1922 ميكاباسكال أما العينه 37 ذات الطبقتين من التسليح المنتظم فان معامل المرونة هو 8،4840 ميكاباسكال أي أكثر من العينه 23 ولنفس الانحراف 12ملم.

الاستنتاجات

1. ان عدد الدورات يقل عند زيادت عدد طبقات التسليح في اعمار الكلال عالية الدورات (قليلة الأجهاد) بالنسبة للعينات المسلحة .
2. ان عدد الدورات في اعمار الكلال عالية الدورات (قليلة الأجهاد) يقل بالنسبة للعينات ذات الطبقتين من التسليح العشوائي مقارنة مع العينات ذات الطبقة الواحدة
3. تقل مرونة العينات ذات التسليح المنتظم (0-90) و العشوائي بازدياد عدد طبقات التسليح
4. عند زيادة الاجهاد المسلط على العينات يتناقص عدد الدورات حتى الفشل
5. ان مرونة العينات ذات التسليح المنتظم اعلى من مرونة العينات ذات التسليح العشوائي بنسبة 1,6% تقريبا

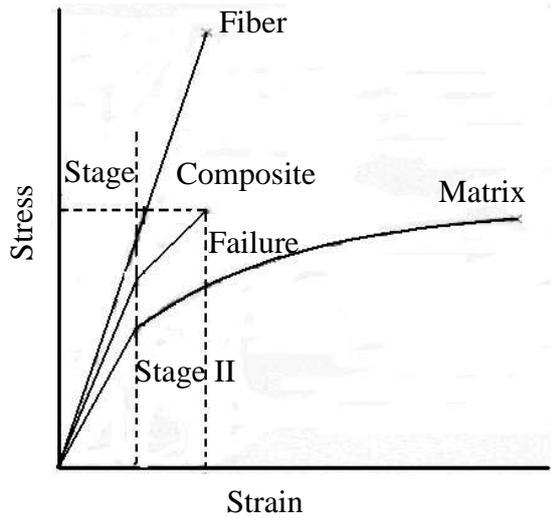
العينات ذات التسليح العشوائي

لقد تبين من البند السابق أن هناك تناقص في عدد دورات الكلال لزيادة عدد طبقات التسليح بالنسبة للعينات ذات التسليح المنتظم. لكن هناك تباين في عدد الدورات الكلال بالنسبة للتسليح العشوائي ففي الجدول (6) نجد عدد الدورات حتى الفشل مع العينه (4) ذات الطبقتين اقل بكثير مما في العينه (12) ذات الطبقة الواحدة .

أن العينه (12) ذات الطبقة الواحدة من الليف

of Fiber Reinforce Polymer Concrete", Copyright, University of Houston 1998

9. Christopher M. Pastor and Frank K. Ko, "Braided Hybrid Composites for Bridge", National Textile Center Annual Report: November 1999.



شكل (1) عمل المادة الرابطة في المواد المتراكبة



شكل (3) العينات المستخدمة في البحث

التوصيات

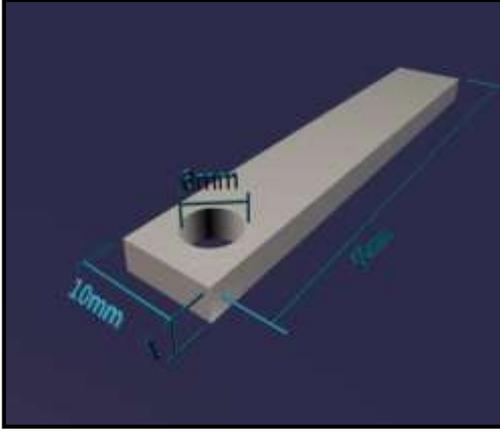
1. دراسة تأثير تغير درجات الحرارة في خاصية الكلال للمترابكات المسلحة بالالياف.
2. دراسة تأثير المواد العضوية في خاصية الكلال للمترابكات المسلحة بالالياف.

المصادر

1. R. I. Butt and J. L. Cotter, "The Effect of High Humidity on the Dynamic Mechanical Properties and Thermal Transitions of an Epoxy Adhesive " Procurement Executive, Ministry of Defense, Royal Aircraft Establishment Farnborough, Hampshire, England, 1975
2. M.M. Schwartz "Composite Materials Handbook", Copyright 1984 by Mc Graw-Hill, Inc
3. V.B. Gupta ,R. K. Mittal and Malti Goel "Energy Absorbing Mechanisms in Short-glass-fiber-reinforced" polypropylene Composites Science and Technology 37 (1990) 353-369
4. Salah Sleibi Mustafa al-Rawi "Weathering Effect on Mechanical, Optical and Surface Properties of Unsaturated Polyester and Epoxy Resin Matrix Composites", University of Baghdad –College of science, 1997.
5. Benjamin tang, P.E. and Podgorny Walt, erJr., Ph.D., P.E."A Successful Beginning for Fiber Reinforce Polymer (FRP) Composite Materials in Bridge Applications ", [http:// www.Fiber.htm](http://www.Fiber.htm), August 23, 2003
6. بلقيس محمد ضياء الدباغ "تسليح و دراسة خواص رانتج الأيبوكسي والبولي أيستر غير المشبع" أطروحة دكتوراه-الجامعة التكنولوجية-قسم العلوم التطبيقية-1996
7. A.Mittelman and I. ROMAN "Tensile Properties of Real Unidirectional Kevlar/ Epoxy Composites" Composites. Vol 21. No 1. January 1990.
8. Kallol sett and C.Vipulanandan, "Compressive and Tensile Properties



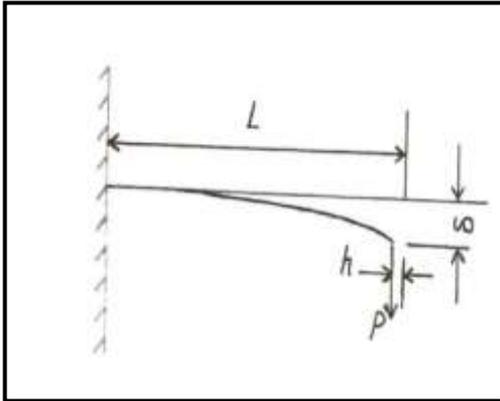
شكل (6)



شكل (7) الابعاد القياسية للعينات



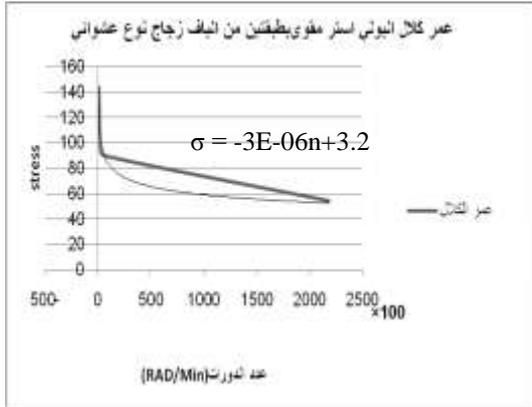
شكل (4) عينات نوع التسليح عشوائي طبقتين



شكل (8) رسم توضيحي لعملية انحناء العينات



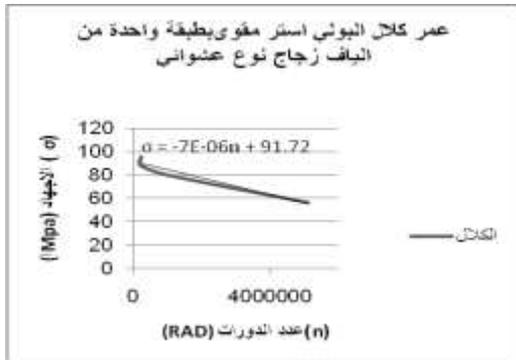
شكل (5) عينات نوع التسليح منتظم طبقتين



شكل (12) عمر كلال البولي ايستر بطبقتين من اليف زجاج نوع عشوائي



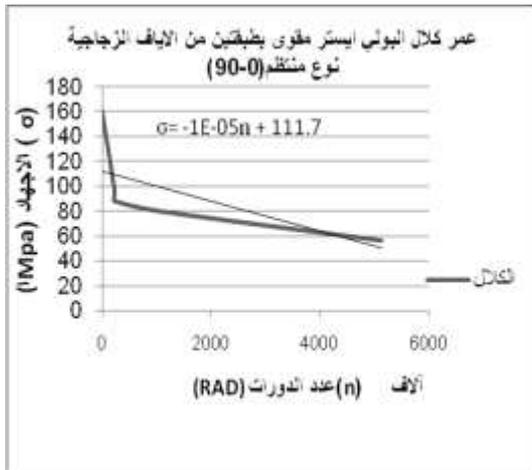
شكل (9) صورة مجهرية للعينه 23 قبل الفحص



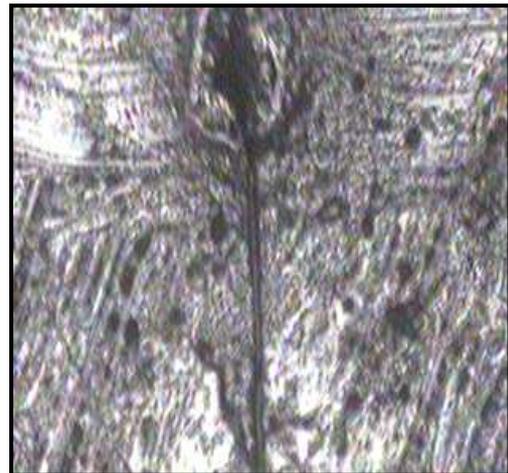
شكل (13) عمر كلال البولي ايستر بطبقة واحدة من اليف زجاج نوع عشوائي



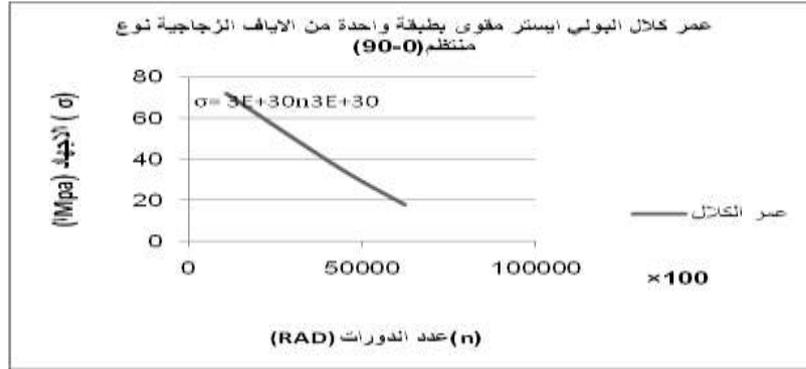
شكل (10) صورة مجهرية للعينه 23 بعد الفحص



شكل (14) عمر كلال البولي ايستر مقوي بطبقتين من الاليف الزجاجية نوع منتظم (90-0)



شكل (11) صورة مجهرية للعينه 37 بعد الفحص



شكل (15) عمر كابل البولي ايستر مقوى بطبقة واحدة من الالياف الزجاجية نوع منتظم (90-0)

جدول (1) الخصائص الفيزيائية والكيميائية والكهربائية لالياف الزجاج [5][6]

Property	E-glass	S-glass	Quartz
Tensile , Ultimate , Ksi/Mpa	500/3450	665/4580	130/896
Tensile medullas , Mis/Gpa	10.6/744	12.6/86.8	10/6.89
Posson`s ratio	0.22		
Density (Ib/In ³)(G/Cm ³)	0.94/2.60		
Dielectrically constant and (72 f°)			
G HZ	6.4-5.9	5.0-5.4	
1 MHZ	6.33	5.34	7.3

جدول (2) العينات المستخدمة في الفحص

العينات	نوع التسليح	عدد الطبقات	وزن الليف	وزن المادة	نسبة التسليح
11-1	عشوائي	طبقتين	1.77	5,9	%30
19-12	عشوائي	طبقة واحدة	1.29	4.3	%30
30-20	90-0	طبقة واحدة	0.79	2.53	%30
40-31	90-0	طبقتين	1.21	4.03	%30

جدول (3) مقارنة بين عدد الدورات والانحراف بعد تسليط الحمل على عينات نوع (90-0) ذات طبقة واحدة وطبقتين

العينات	نوع التسليح	عدد الطبقات	الحمل (p) N	الانحراف (δ)mm	عدد الدورات (n)	الاجهاد (σ) Mpa	معامل المرونة E Mpa
23	منتظم	1	2	12	4327367	36	1922.1
37	منتظم	2	10	10	1012402	80	3417.1

جدول (4) عدد الدورات والانحراف بعد تسليط الحمل على عينات نوع (90-0) ذات طبقة واحدة

العينات	نوع التسليح	عدد الطبقات	الحمل (p) N	الانحراف (δ)mm	عدد الدورات (n)	الاجهاد (σ) Mpa	معامل المرونة E Mpa
26	منتظم	1	1	9	6221455	18	1281.4
23	منتظم	1	2	12	4327367	36	1922.1
24	منتظم	1	4	13	1093156	72	3548.5

جدول (5) عدد الدورات والانحراف بعد تسليط الحمل على عينات نوع (0-90) ذات طبقتين

العينات	نوع التسليح	عدد الطبقات	الحمل (p) N	الانحراف (δ)mm	عدد الدورات (n)	الاجهاد Mpa	معامل المرونة Mpa
38	منتظم	2	10	10	1012402	80	3417.1
39	منتظم	2	12	12	1616132	96	3417.1
34	منتظم	2	15	10	399176	120	5125.6
37	منتظم	2	17	12	564.7	136	4840.8

جدول (6) مقارنة بين عدد الدورات والانحراف بعد تسليط الحمل (1-2) طبقة من النوع العشوائي

العينات	نوع التسليح	عدد الطبقات	الحمل (p) N	الانحراف (δ)mm	عدد الدورات (n)	الاجهاد (σ) Mpa	معامل المرونة E Mpa
12	عشوائي	1	4	6	5130455	32	2278.04
4	عشوائي	2	12	6	218443	54	2883.19

جدول (7) عدد الدورات والانحراف بعد تسليط الحمل على عينات نوع العشوائي ذات الطبقتين

العينات	نوع التسليح	عدد الطبقات	الحمل (P) N	الانحراف δ mm	عدد الدورات (n)	الاجهاد Mpa	معامل المرونة E Mpa
2	عشوائي	2	20	10	5123	213.3	5123
5	عشوائي	2	22	12	1544	234.6	1544
8	عشوائي	2	32	14	524	341.3	524

جدول (8) يبين عدد الدورات والانحراف بعد تسليط الحمل على عينات نوع العشوائي ذات طبقة واحدة

العينات	نوع التسليح	عدد الطبقات	الحمل (p) N	الانحراف (δ)mm	عدد الدورات (n)	الاجهاد (σ) Mpa	معامل المرونة E Mpa
13	عشوائي	1	9	12	33	72	2562.8
15	عشوائي	1	6	6	13319	48	3417.1
16	عشوائي	1	7	10	1007	56	2391.9