تأثير نوع الرانتج والليف في المواد المتراكبة على خاصية الكلال

م.م. صباح مهدي صالح

قسم الهندسة الميكانيكية – جامعة تكريت

الخلاصة

إن الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير نوع الرانتج والليف في المواد المتراكبة على خاصية الكلال. إذ تم استخدام نوعين من الرانتجات ،هما رانتج الأيبوكسي ورانتج البولي استر ،ونوعين من الألياف هما ألياف الكربون النظامية(90–0) وألياف الكربون المقطع (particle) . وقد تم تصنيع ألواح من هذه المواد يدوياً بنسب كسر حجمي 30% بالنسبة لألياف الكربون النظامية مع كلا الرانتجين، و5% بالنسبة لألياف الكربون المقطعة. وتم ايضاً تقطيع الألواح إلى عينات بأبعاد وعلى وفق مواصفات جهاز فحص الكلال، وتم ايضاً فحص هذه العينات لمعرفة تأثير نوع الرانتج والليف على عمر الكلال ومعامل المرونة لكلا الحالتين.

الكلمات الدالة: ألياف الكربون النظامية، ألياف الكربون المقطع، أعمار الكلال، حد الكلال، البوليمارات، البولي أستر، الأيبوكسي.

The Effect of Matrix and Fiber Type on Their Fatigue Characteristic in a Composite Material

Abstract

The objective of this research is to study the effect of the resin type and fibers in composite material on fatigue behavior by using two types of fibers and resin. The resin types are epoxy and polyester type and the fiber types are uniform carbon fiber (90-0) and particle carbon fiber type .

Where The specimen are made for four slates from these materials ,in 30% volume fraction for the uniform carbon fiber (90-0), and 5% for particle carbon fiber. These specimen are cut in proper dimension according to the properties of fatigue testing device. At least These specimens are tested in order to know the effect of matrix and fiber type on the fatigue performance in a composite material.

Key words: Uniform Carbon fiber, particle carbon fiber, composite material, Polyester resin, epoxy resin, fatigue.

الرموز المستخدمة في البحث

الرمز	المعنى	الوحدة
b	عرض العينة	mm
E	معامل يونك	N/m^2
E composite	معامل يونك للمادة المتراكبة	N/m^2
Ef	معامل يونك للألياف (fiber)	N/m^2
Em	معامل يونك للمادة الأساس (Matrix)	N/m^2
f_f	نسبة الكسر ألحجمي لليف	%
L	طول العينة	mm
n	عدد الدورات	rpm
P	الحمل	N
t	سمك العينة	mm
ε_L	الانفعال الاسمي لليف	
ε_L	الانفعال الاسمي للمتراكب	
δ	الانحراف	**mm**
σ_m	أجهاد المادة الأساس	N/m^2
σ_f	أجهاد الألياف	N/m^2

المقدمة

بعد توسع استخدام المتراكبات في عديد من التطبيقات كأبدان السيارات والسفن والطائرات والمركبات الفضائية، ولكون هذه المواد (المتراكبة) تعمل تحت ظروف بيئية متعددة وتتعرض إلى اجهادات مختلفة مما يتطلب دراسة خواص هذه المواد تحت ظروف مختلفة للوصول إلى النتائج والحصول على التصميم المناسب لها. ظهرت ألياف الكربون أول مرة عام 1779م عندما استخدم العالم أديسون خيوط الكربون في المصابيح، بعد عام 1960م تطورت صناعة ألياف الكربون بصورة سريعة حيث تم استخدامها في جميع المجالات ومنها صناعة السيارات والطائرات العسكرية والمدنية والمركبات الفضائية لما تمتاز به هذه الألياف من خفة الوزن والمتانة العالية وقوة السحب العالية.

يحدث الفشل في المعدات التي تدخل المواد المتراكبة في صناعتها بسبب الأحمال (الاجهادات) المتغيرة مع الزمن مقارنة مع الاجهادات الستاتيكية (الساكنة) ،مما يعني إن متانة الكلال تكون اقل من المتانة الستاتيكية وهذا النوع من الفشل يحدث عند مستويات إجهاد اقل من مقاومة الخضوع لهذه المواد، فالفشل الذي يحدث في ظروف التحميل الديناميكي يدعى فشل الكلال (fatigue failure)

تأثير خصائص الألياف وأنواعها في سلوك الكلال:

استخدم العالم بولر (Boller) عدة أنواع من الألياف في تسليح المواد المتراكبة فوجد هناك تباين واضح جدا في سلوك الكلال لبعض الألياف مقارنة بالأخرى . وقارن بين الألياف ذات المرونة العالية والألياف ذات المرونة الواطئة فوجد إن المتراكبات ذات معاملات المرونة العالية تمتلك تأدية للكلال أعلى وأفضل من الثانية.[1]

الفشل في الألياف للمواد المتراكبة

يبين الشكل (1) إن الفشل في المواد المتراكبة يحدث عند الوصول إلى حد الخضوع ، ويمكن حساب

الإجهاد في المتراكب (composite) كما يلي [2] :

$$\sigma = \sigma_f f_f + \sigma_m (1 - f_f) \quad \text{.....(1)}$$

الجانب النظري

الرانتجات

الراتنجات مواد بوليمرية معقدة تدخل بشكل كبير ضمن المواد الأولية لصناعة اللدائن وكذلك تعد من المواد الأساسية في تشكيل المتراكبات، حيث إن السلاسل المكونة للراتنجات تكون بشكل بلوري عند تصلبها الأمر الذي يجعلها تمتلك معامل مرونة و وزن نوعي واطئين [3]، وتصنف الراتنجات إلى:

1. رانتجات مقاومة للحرارة thermoplastics
2. رانتجات غير مقاومة للحرارة thermo set

رانتج الأيبوكسي

وهو من الرانتجات المصلدة حراريا، ويستخدم بشكل واسع في مجالات عديدة لصناعة المواد المتراكبة، ويحتوي على ذرتي كربون وذرة أوكسجين مرتبطة بشكل حلقة [4]، إن مجموعة الأيبوكسي التي تتركب منها رانتجات الأيبوكسي موضحة في الشكل (2) ويمتاز بكونه قليل الانكماش إثناء التصلب وقادرا على ملىء اصغر الفراغات المتكونة خلال التصنيع[5]. والجدول (1) يبين المواصفات الميكانيكية للايبوكسي.

تأثير المادة الرابطة في المواد المتراكبة

إن تأثير المادة الرابطة في المتراكبات هو ربط الألياف مع بعضها البعض. وهذا يعني أن المادة الرابطة تضيف متانة (Toughness) إلى المادة المتراكبة من خلال نقل وتثبيت الاجهادات المسلطة على المادة المتراكبة. أن طبيعة فشل الكلال تعتمد على استطالة المادة الرابطة إلى حد التمزق. إن المادة الرابطة (matrix) تستطيع امتصاص الطاقة بواسطة التشوه عند تسليط الاجهادات [5].

ألياف الكربون

ألياف الكربون أو ما تسمى ألياف الكرافايت أو كربون الكرافايت مواد تحتوي على ألياف رقيقة جدا (0.01mm −0.005) والمركبة في الغالب من ذرات الكربون، أي حوالي 90% كربون. وتكون ذرات الكربون مرتبطة سوية مع بعضها في البلورات المجهرية والتي تترتب بشكل متوازي مع المحور الطولي لليف مما يجعل الليف قوياً جدا، إن من أهم خصائص ألياف الكربون هي المقاومة العالية للشد وخفة الوزن وذات معامل تمدد حراري قليل.من طرق استخلاص ألياف الكربون طريقة (CARBON FIBERS FROM POLYACRYLONITRILE) وبما تسمى مختصرا (PAN)[6]. ويمكن اختصار مراحل الإنتاج بثلاث خطوات هي:

1- STABILIZATION أو إزالة الغازات المذابة وهذه العملية تمر بعدة خطوات ،الخطوة الأولى طرد الماء بدرجة حرارة (25-150 ^{o}C) والخطوة الثانية التجفيف بدرجة حرارة (150-240 ^{o}C) وأخيرا اتحاد ذرات الكربون تحت درجة حرارة (240-400 ^{o}C)

2- CARBONIZATION أو ما يسمى (التفحيم) وذلك بالتحويل إلى الكرافايت على شكل طبقات ويحدث ذلك بدرجة حرارة (400-700 ^{o}C)

3- GRAPHITIZATION ويحدث ذلك بدرجة حرارة (^{o}C 2700-700) للحصول على ألياف ذات مواصفات عالية وذات معامل مرونة عالية ويمكن توضيح طرق استخلاص ألياف الكربون حسب المخطط الموضح في الشكل (3).

عمل الألياف في المواد المتراكبة

تصنع المواد المتراكبة وذلك للحصول على مادة ذات خصائص تجمع بين خصائص المواد المكونة لها، وعادة ما تكون المواد المتراكبة متكونة من مادتين هما الألياف والمادة الرابطة.إن الألياف غالبا ما تكون من الزجاج أو الكفلر أو الكربون، والمادة الرابطة تكون عادة غير مطاوعة للحرارة مثل رانتج الأيبوكسي أو البولي استر. يعمل الليف في المادة الرابطة لكي يجعلها أكثر قوة وإن المتراكبات المدعمة بالألياف تمتلك ميزتين هامتين هما القوة وخفة الوزن وغالبا ما تكون أقوى من الفولاذ وذات كثافة أقل منه. إن المواد المتراكبة يمكن إن يكون لها معاملات مرونة ذات قيم اكبر بكثير من موادها الأساسية .فإذا تم تسليط أجهاد (stress) على المادة المتراكبة ذات الكسر الحجمي (V_f) من الألياف بموازاة الألياف المكونة لهذه المواد. فمن الطبيعي الافتراض بأن معامل الإجهاد للمتراكب هو [7] :

$$\sigma = V_f\,\sigma_f + (1 + V_f)\sigma_m \quad \ldots\ldots 2$$

$$\sigma = E_f\,V_f\,\varepsilon_m + E_m(1 - V_f)\varepsilon_m \quad \ldots (3)$$

و بما أن:

$$E_{composiet} = \frac{\sigma}{\varepsilon_m} \quad \ldots\ldots (4)$$

إذن:

$$E_{composiet} = V_f E_f + (1 - V_f)\varepsilon_m \quad \ldots (5)$$

تأثير خصائص المادة الأساس

إن للمادة الأساس دور مهم جدا في تحديد عمر الكلال للمواد المتراكبة، حيث نلاحظ من خلال الشكل (4) إن أفضل المواد الأساس هي الأيبوكسي مقارنة بالمواد الأخرى مثل الفينول والبولي استر عند خلطها مع عدة أنواع من الألياف مثل الكفلر وألياف الزجاج.[8]

الجانب العملي

المواد المستخدمة

تم استخدام نوعين من المادة الأساس هما رانتج البولي استر و رانتج الأيبوكسي كما استخدم نوعين من ألياف الكربون هما ألياف الكربون النظامية (90–0) وألياف الكربون المقطعة (particle) لغرض التسليح والحصول على المادة المتراكبة المعدة للفحص.

تصنيع العينات

تم استخدام طريقة التشكيل اليدوي لغرض تصنيع العينات وذلك لسهولة الاستخدام والبساطة وقلة الكلفة، حيث تم تصنيع أربعة الواح من المادة المتراكبة: اللوح الأول رانتج البولي استر مع ألياف الكربون النظامية (90–0) واللوح الثاني رانتج الأيبوكسي مع ألياف الكربون النظامية (90–0) والثالث رانتج البولي استر مع ألياف الكربون المقطعة (particle)، واللوح الرابع رانتج الأيبوكسي مع ألياف الكربون المقطعة والمقاطع الموضحة في شكل (5) تبين إشكال وأصناف هذه الألواح.

نسبة التسليح

تـم اسـتخدام نسـبة تسـليح 30% لـرانتج الأيبوكسي والبولي استر مع ألياف الكربون النظامية ونسبة تسليح 5% لرانتج الأيبوكسي والبولي استر مع ألياف الكربون المقطع(particle)

تقطيع العينات

تـم تقطيـع العينـات بطـول (60 ملـم) و عرض (10 ملم) حسب مواصفات جهاز اختبار الكلال كما مبين في الشكل (6).

جهاز اختبار الكلال

تم استخدام جهاز الاختبار من نوع الانحناء المتناوب لماكنة الكلال (Alternating bending fatigue machine) حيث يعمل الجهاز على تطبيق مبدأ ثني متذبذب (متناوب) على قطعة العينة المثبتة من طرف واحد لتحديد أداء الكلال والشكل (7) يبين الجهاز المستخدم في الفحص.تم تسليط إجهاد ثني ذو قيمة محددة على العينة المثبتة من طرف واحد وذلك بتسليط حمل مقداره (P نيوتن) والذي تسبب بانحراف مقداره (δ_{mm}) كما موضح في الشكل (8) . ومن ثم تم حساب كل من الإجهاد المسلط (σ) على العينة وطول العينة (ℓ) مقدار الانحراف (δ_{mm}) ومعامل بونك للعينة(E) بأتباع الخطوات التالية:

$$\ell = L - h = L - \frac{A^2}{L} \qquad .....(6)$$

$A=0.785\delta$ (constant)

$$\sigma = \frac{6p\ell}{bt^2} \qquad .....(7)$$

$$E = \frac{\ell^2 \sigma}{1.5t\delta} \quad . . . . . (8)$$

الحسابات و النتائج

1- تم فحص العينات المصنعة من الأيبوكسي مع ألياف الكربون النظامية (90-0) وكانت النتائج كما في الجدول (2).

2- تم فحص العينات المصنعة من الأيبوكسي مع ألياف الكربون المقطع وكانت النتائج كما في الجدول (3).

3- تم فحص العينات المصنعة من البولي استر مع ألياف الكربون النظامية (90-0) وكانت النتائج كما في الجدول (4).

4- تم فحص العينات المصنعة من البولي استر مع ألياف الكربون المقطع وكانت النتائج كما في الجدول (5).

المناقشة

1- إن العينات المصنعة من مادة الأيبوكسي لكلا النوعين من الألياف تكون ذو عمر كلال أطول من العينات المصنعة من البولي استر لكلا النوعين من الألياف. فعلى سبيل المثال، إن العينة (2) المصنعة من الأيبوكسي مع ألياف الكربون النظامي (90-0) يكون الدوران لحد الفشل (1081203 دورة) لحمل (4 نيوتن) بينما العينات المصنعة من البولي استر ولنفس نوع الليف ونفس الحمل يكون لها الدوران لحد الفشل (218400دورة). أما العينات المصنعة من مادة الأيبوكسي المقواة بألياف الكربون المقطع (particle) فتكون ذو عمر كلال أطول من العينات المصنعة من مادة البولي استر المقواة بألياف الكربون المقطع (particle) فعلى سبيل المثال إن العينة رقم (1) المصنعة من الأيبوكسي مع ألياف

الكربون المقطع لها دوران لحد الفشل هو (121543 دورة) بينما العينة رقم (13) المصنعة من البولي استر ولنفس نوع الليف ونفس الحمل يكون الدوران لحد الفشل (51014 دورة).

2 – إن العينات المصنعة من مادة الأيبوكسي و مقوات بألياف الكربون النظامية (90–0) بكسر حجمي 30% ذو عمر كلال أطول من العينات المصنعة من مادة الأيبوكسي و مقوات بألياف الكربون المقطعة على سبيل المثال إن العينة رقم (4) المصنعة من مادة الأيبوكسي و مقوات بألياف الكربون النظامية (90–0) بكسر حجمي 30% لها دوران لحد الفشل هو(214324) ولحمل (6 نيوتن) بينما العينة رقم (8) المصنعة من مادة الأيبوكسي و مقوات بألياف الكربون المقطعة لها دوران لحد الفشل هو(950) لنفس الحمل.

3– إن العينات المصنعة من مادة البولي استر و مقوات بألياف الكربون النظامية (90–0) بكسر حجمي 30% ذو عمر كلال أطول من العينات المصنعة من مادة البولي استر و مقوات بألياف الكربون المقطعة بكسر حجمي 5% .على سبيل إن العينة رقم (12) المصنعة من مادة البولي استر و مقوات بألياف الكربون النظامية (90–0) بكسر حجمي30% لها دوران لحد الفشل هو(218400) لحمل(4 نيوتن) بينما العينة رقم (15) المصنعة من مادة البولي استر و مقوات بألياف الكربون المقطعة بكسر حجمي 5% لها دوران لحد الفشل هو(4924) لنفس الحمل .

4 – إن معامل المرونة للعينات المصنعة من مادة الأيبوكسي لكلي النوعين من الألياف يكون اكبر من معامل المرونة للعينات المصنعة من مادة البولي استر لكلي النوعين من الألياف. على سبيل إن العينة رقم (12) المصنعة من مادة البولي استر و مقوات بألياف الكربون النظامية(90–0) بكسر حجمي30% لها معامل مرونة (Mpa 1682.7) بينما العينة رقم(2) المصنعة من مادة الأيبوكسي و مقوات بألياف الكربون النظامية (90–0) بكسر حجمي30% لها معامل مرونة(Mpa 2094.71) ولنفس الحمل.

الاستنتاجات

1 – لقد أظهرت النتائج والفحوصات المختبرية للعينات المصنعة من الأيبوكسي و المسلحة بألياف الكربون (90–0) بكسر حجمي 30% والأخرى المصنعة من البولي استر مع نفس نوع الليف ولنفس نسبة الكسر الحجمي إن هناك تناقصاً في عدد الدورات إلى حد الكلال عند زيادة الحمل المسلط عليها كما موضح في الشكلين (9)، (13) وعلى التوالي وأيضاً بالنسبة للعينات المصنعة من الأيبوكسي و المسلحة بالألياف الكربون المقطع بنسبة كسر حجمي 5% وتلك المصنعة من البولي استر مع ألياف الكربون المقطع بنسبة كسر حجمي 5%كما موضح في الشكلين (10)، (14)على التوالي وهذا ما توصل اليه الباحث[1] .

2 – إن معامل المرونة لعينات مصنعة من الأيبوكسي و ألياف الكربون النظامية (90–0) بكسر حجمي 30% أو لعينات مصنعة من الأيبوكسي و ألياف الكربون المقطع بكسر حجمي 5% يتناقص بزيادة عدد الدورات لحد الفشل كما موضح في الشكلين (11)، (12) وعلى التوالي.

3 – إن معامل المرونة لعينات مصنعة من البولي استر مقواة بألياف الكربون النظامية (90–0) لنسبة كسر حجمي 30% يتزايد بزيادة عدد الدورات لحد الفشل كما في الشكل (15) بينما يكون معامل المرونة لعينات مصنعة من البولي استر مقواة بألياف الكربون المقطع لنسبة كسر حجمي 5% يتناقص بزيادة عدد الدورات لحد الفشل كما في الشكل (16)

المصادر

1-Dr . Mohammed Ghazi Hammed " Effect of some liquids absorption on fatigue and hardness properties for epoxy composites" Ph.D. thesis University of Technology (2008).

2- Composite material Handbook, MIL-HDBK-17-4A volume 4 of 5,MetalMatrix Composite (17JONE2002).

3- B Harris, "Fatigue in composites: science and technology of the fatigue response of fiber-reinforced plastics", Wood head publishing limited, 2005.

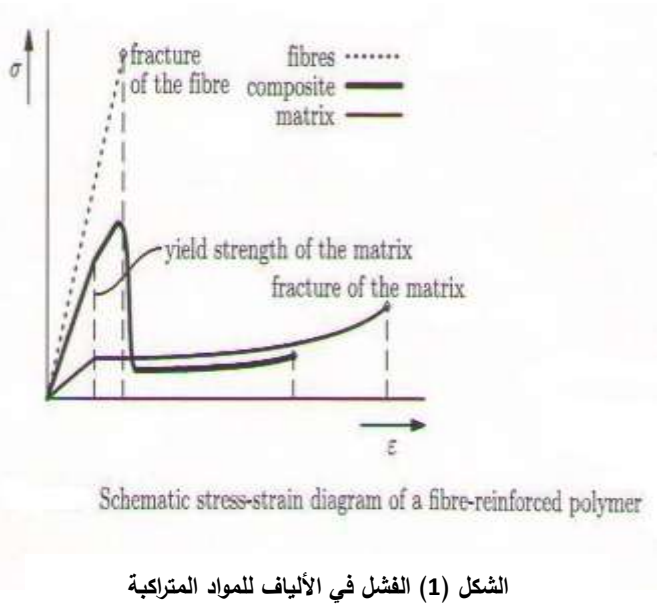
4- V. Bjohn, "Introduction to engineering materials", second edition, Mc millan publishers, 1983.

5-Internet report, "Mechanical properties of composite materials" http://www. mechanics of composites. htm, 2001.

6- Internet report, "carbon fiber" //http.en.wikipedia.org/wiki/carbon fiber.

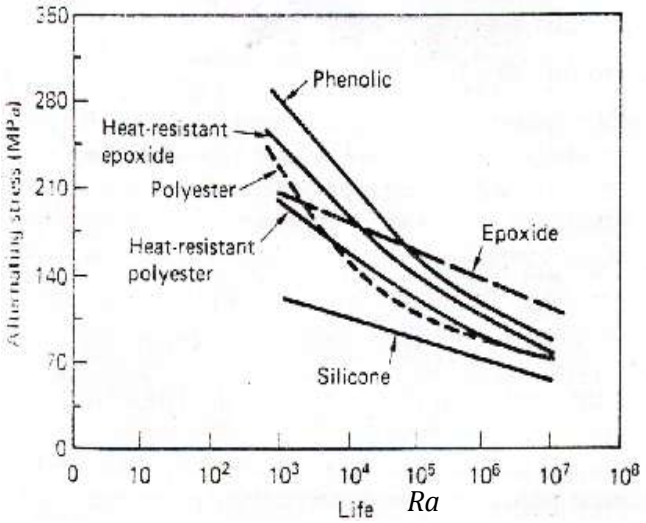
7- Composite material Handbook, MIL-HDBK-17-3F volume 3 of 5,Metal Matrix Composite(17JONE2002).

8- O. Konur and F. L. Matthews. "Effect of the properties of the constituents on the fatigue performance of composites: A review". Composites, vol. 20, no. 4, July 1989.

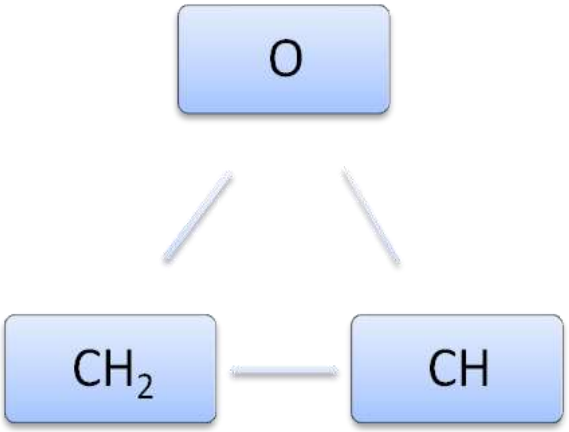


Schematic stress-strain diagram of a fibre-reinforced polymer

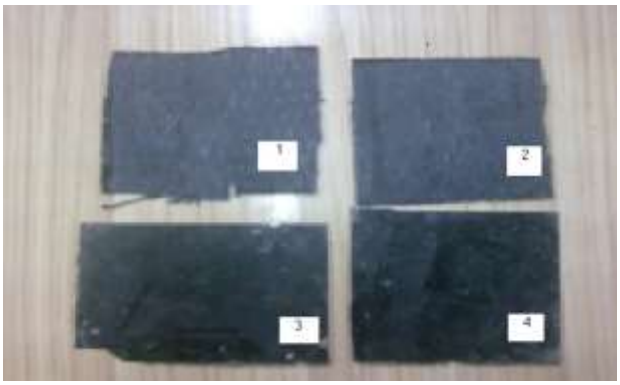
الشكل (1) الفشل في الألياف للمواد المتراكبة



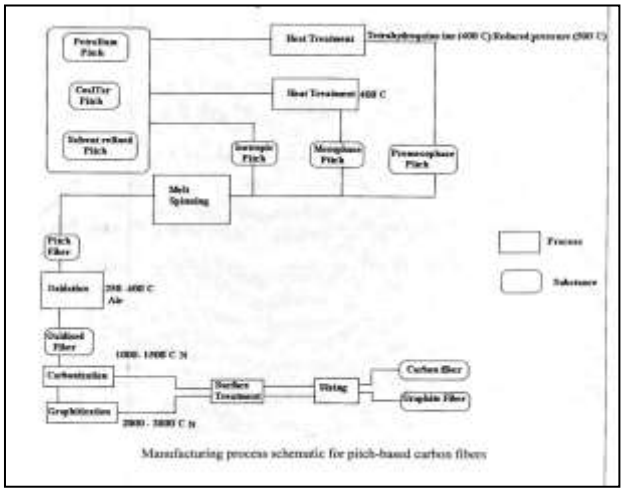
لشكل (4) أفضلية المواد الأساس المستخدمة مع الألياف لإنتاج المواد المتراكبة من حيث عدد الدورات لحد الفشل



الشكل (2) الارتباط الذري لجزيء الأيبوكسي



الشكل (5) الألياف المختلفة مع الرانتج المختلف

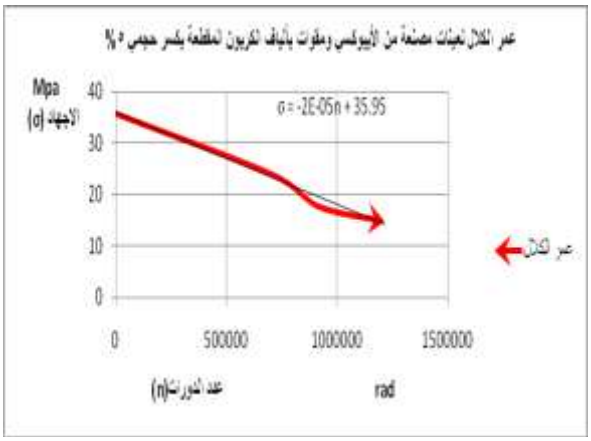


Manufacturing process schematic for pitch-based carbon fibers

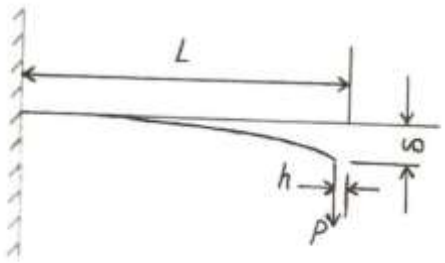
الشكل (3) طرق استخلاص ألياف الكربون

الشكل (6) العينات المستخدمة في الفحص

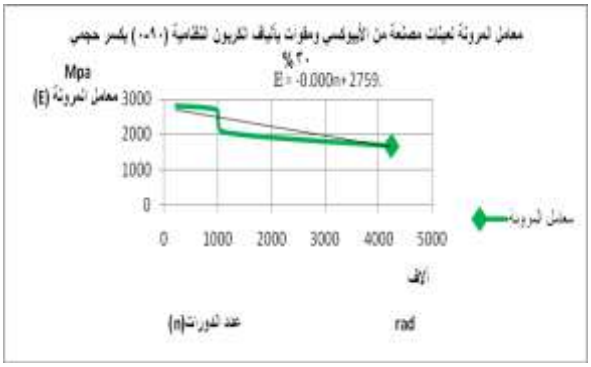
الشكل(7) صورة للجهاز المستخدم في الفحص



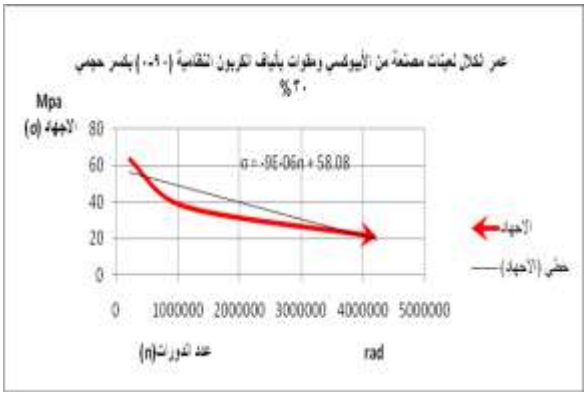
الشكل (10) عمر الكلال لعينات مصنعة من الأيبوكسي وألياف الكربون المقطعة بكسر حجمي 5%



شكل (8) يوضح تثبيت العينة على جهاز الفحص المستخدم

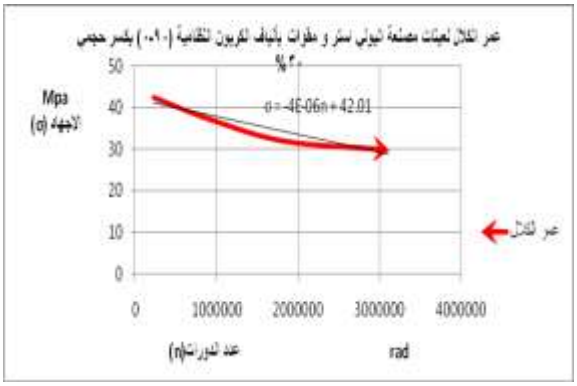


الشكل (11) معامل المرونة لعينات مصنعة من الأيبوكسي وألياف الكربون النظامية (90–0) بكسر حجمي 30%

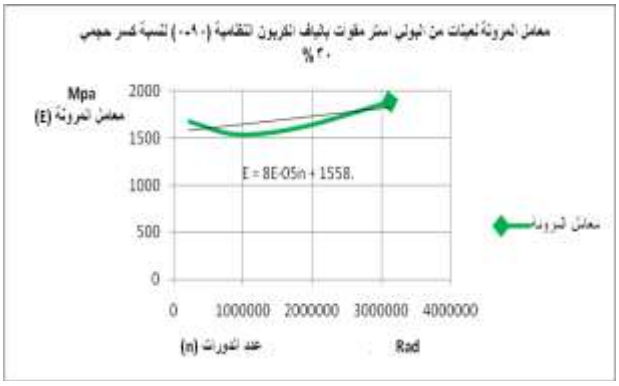


الشكل (9) عمر الكلال لعينات مصنعة من الأيبوكسي ومقوى بألياف الكربون النظامية (90–0) بكسر حجمي 30%

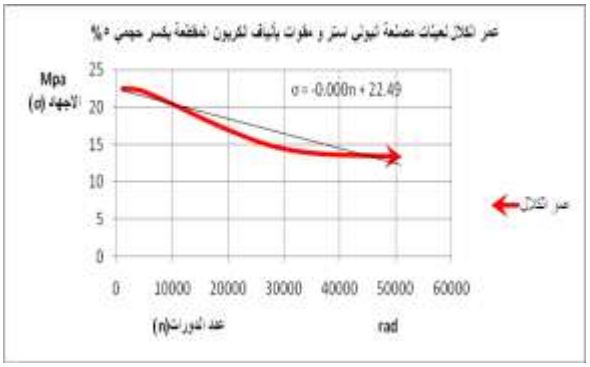
الشكل (12) معامل المرونة لعينات مصنعة من الأيبوكسي و ألياف الكربون المقطع بكسر حجمي 5%



الشكل(13) عمر الكلال لعينات مصنعة البولي استر وألياف الكربون النظامية (90–0) بكسر حجمي 30%



الشكل (15) معامل المرونة لعينات من البولي استر مقوات بألياف الكربون النظامية (90–0) لنسبة كسر حجمي 30%



الشكل (14) عمر الكلال لعينات مصنعة البولي استر وألياف الكربون المقطعة بكسر حجمي 5%

الشكل (16) معامل المرونة لعينات من البولي استر مقوات بألياف الكربون المقطعة لنسبة كسر حجمي 5%

جدول (1) المواصفات الميكانيكية للايبوكسي

Property	Units	Cold curing	Hot curing
Viscosity	------	600-1000	200- 400(at 60^{o}C)
Density	mg/m^{3}	1.1-1.4	1.1
Tensile strength	Mpa	60-80	70-85
Tensile modulus	Gpa	3.8-3.0	3.0-2.6
Elongation at break	%	1.9-7.5	4.5-8.0
Poisons ratio	------	0.35	0.35
Shear modulus	Gpa	1.1	1.0

جدول (2) عمر الكلال و معامل المرونة لعينات مصنعة من الأيبوكسي و ألياف الكربون النظامية (90–0) بكسر حجمي 30%

رقم العينة	الحمل(p) (N)	الانحراف(δ) (mm)	سمك العينة(t) (mm)	عدد الدورات(n) (rad)	الإجهاد(σ) (Mpa)	معامل المرونة(E) (Mpa)
1	2	9	1.5	4223215	21.28	1681.12
2	4	13	1.5	1081203	38.3	2094.71
3	5	14	1.5	984425	53.2	2701.8
4	6	16	1.5	214324	63.8	2835.11

جدول (3) عمر الكلال ومعامل المرونة لعينات مصنعة من الأيبوكسي و ألياف الكربون المقطع بكسر حجمي 5%

رقم العينة	الحمل(p) (N)	الانحراف(δ) (mm)	سمك العينة(t) (mm)	عدد الدورات(n) (rad)	الإجهاد(σ) (Mpa)	معامل المرونة(E) (Mpa)
5	1	2.5	2	1215430	6	1272
6	3	4	2	913450	18	2385
7	4	4.8	2	716312	24	2650
8	6	7.2	2	950	36	2650

جدول (4) عمر الكلال ومعامل المرونة لعينات مصنعة من البولي استر و ألياف الكربون النظامية (90–0) بكسر حجمي 30%

رقم العينة	الحمل(p) (N)	الانحراف(δ) (mm)	سمك العينة(t) (mm)	عدد الدورات(n) (rad)	الإجهاد(σ) (Mpa)	معامل المرونة(E) (Mpa)
9	2	8	1.5	3112422	21.3	1893.3
10	3	14	1.5	1840121	32	1625.4
11	3.5	17	1.5	911421	37.3	1547.7
12	4	18	1.5	218400	42.6	1682.7

جدول (5) عمر الكلال ومعامل المرونة لعينات مصنعة من البولي استر و ألياف الكربون المقطع بكسر حجمي5%

رقم العينة	الحمل(p) (N)	الانحراف(δ) (mm)	سمك العينة(t) (mm)	عدد الدورات(n) (rad)	الإجهاد(σ) (Mpa)	معامل المرونة(E) (Mpa)
13	1	1.8	1.8	51014	7.4	2436.21
14	3	2.1	1.8	28400	14.8	4176.36
15	4	2.5	1.8	4924	22.2	5262.2
16	6	4	1.8	950	22.6	3348.1