

مقارنة قيم متانة الانحناء لمادة بوليمرية واخرى متراكبة ليفية
بطريقتي الانحناء ثلاثي ورباعي النقطة

د. أوام محمد حميد

قسم العلوم التطبيقية/الجامعة التكنولوجية

الخلاصة

يهدف بحثنا هذا الى تحديد قيم متانة الانحناء لمادة الايبوكسي قبل وبعد تسليحها بالالياف وذلك باجراء اختباري الانحناء ثلاثي النقطة (3-point bending test) واختبار الانحناء رباعي النقطة (4-point bending test) ومن ثم مقارنة النتائج المستحصلة من طريقتي الاختبار المذكورة.

ولهذا الغرض تم تحضير مصبوبات المواد قيد الدراسة باستخدام قوالب اعدت لهذا الغرض مسبقا علما بان الكسر الحجمي للالياف قدره (20%) وتم تسليح الايبوكسي بالياف الزجاج المقطعة (chopped glass fibers) وبعد عملية التصلب تم تقطيع العينات بطول (10cm) ، عرض (10 cm) وسمك (0.5cm) وقد تم اجراء الاختبارات عند درجة حرارة الغرفة ، ولوحظ من نتائج الفحوصات ان الايبوكسي المسلح بالياف الزجاج يمتلك متانة انحناء اعلى من تلك للايبوكسي غير المسلح وكذلك اقل انفعال وقد لوحظ في اختبار الانحناء رباعي النقطة ان القوة اللازمة لفشل العينة من الايبوكسي النقي تكون اعلى من تلك اللازمة لفشل نفس العينة المعرضة لاختبار الانحناء ثلاثي النقطة ، تم تصوير سطوح الكسر ومنطقة الفشل الحاصل للعينات باستخدام المجهر الضوئي .

الكلمات الدالة: متانة الانحناء ، اختبار الانحناء ثلاثي النقطة ، اختبار الانحناء رباعي النقطة ، الايبوكسي ، الياف الزجاج المقطعة.

Comparing the Flexural Strength Values for Polymeric Material and other Fibrous Composite in 3 and 4 Point Bending Methods

Dr. Awham M. Hameed

Applied Sciences Department, University of Technology.

Abstract

This research aims to determine the flexural strength (F.S) values for epoxy material before the reinforcement and after it by carrying out 3 and 4 bending tests then comparing the results that obtained from the two mentioned test methods. For this purpose, the casts of materials under study were prepared by using molds prepared previously for this objective. Epoxy resin reinforced with chopped glass fibers with volume fraction is (20%). After the solidification process, the samples were cut with length (10cm), width (1cm) and thickness (0.5cm), and then some tests were performed at room temperature. It was found from the results of tests that epoxy reinforced with glass fibers has higher (F.S) with less strain than that for un reinforced epoxy. It can be also noticed in 4-point bending test, the force needed for the sample failure of pure epoxy is higher than that required for failing the same sample subjected to 3- point bending test. Optical microscope was used for imaging the fracture surfaces and failure regions of samples.

المقدمة

في الستينات من القرن الماضي بدأ انتشار المواد المتراكبة. وهي المواد المؤلفة من مادتين مختلفتين أو أكثر، وأولاهما مادة تقوية يمكن أن تكون على شكل ألياف مصنوعة من مواد عالية المقاومة (كألياف الكربون وألياف الزجاج مثلاً) والمادة الثانية هي إحدى اللدائن أو البوليمرات الغروية التي تعطي المنتج النهائي شكله المطلوب وتسمى المادة الحاضنة وتكون الخواص الميكانيكية للمنتج النهائي مغايرة لخواص أي من المواد المؤلفة له. وقد انتشرت المواد المتراكبة انتشاراً هائلاً خلال الفترة القصيرة من عمرها نظراً لخواصها الميكانيكية الممتازة مقارنة بوزنها المنخفض، فدخلت في كل المجالات الهندسية رغم أنها ولدت أصلاً في عالم صناعة الطائرات ومركبات الفضاء، حيث تلعب خفة الوزن دوراً رئيسياً في اختيار المواد [1,2].

مع الطلب المتزايد للحصول على مواد ذات جودة عالية ومواصفات مرغوبة أصبح اختبار متانة الانحناء اختبار مهم في عمليات التصنيع والابحاث والتطوير ويمكن تعريف متانة الانحناء على انها مقاومة المادة للتشوه تحت تأثير الحمل المسلط عليها. فالمادة الخاضعة لهذا الاختبار

تعطي صورة واضحة لمعامل المرونة للانحناء (modulus of elasticity in bending) واجهاد الانحناء (flexural stress) وانفعال الانحناء (flexural strain) [3].

وان مقاومة الانحناء القصوى هي اقصى حمل تتحمله العينة دون حدوث انهيار للمادة المتراكبة وتعتمد على عوامل أهمها [4]:

- درجة الحرارة والرطوبة.
- معدل الانفعال.
- الكسر الحجمي لمادة التدعيم.
- نوع مادة التسليح المستخدم كالألياف من حيث (الطول، الاتجاه، القطر).
- الظروف الجوية المختلفة.
- وجود الفجوات في المادة المتراكبة.

يكون اختبار متانة الانحناء على نوعين:-

1- اختبار متانة الانحناء ثلاثي النقطة (Three Point Flexural Strength)

ويمثل ابط التقينيات المستخدمة والأكثر شيوعا في حساب متانة الانحناء (F.S) (N/mm^2) والشكل (1) يوضح طريقة اجراء اختبار متانة الانحناء ثلاثي النقطة ويمكن ملاحظة هذا الاختبار القياسي من الشكل باستخدام العلاقة الاتية [5]:

$$F.S = 3PL/2bd^2 \dots\dots\dots(1)$$

حيث ان: L اقصى حمل تتحمله العينة (N)، D سمك العينة (mm)، L البعد بين نقطتي التحميل (mm)، و B عرض العينة (mm).

2- اختبار متانة الانحناء رباعي النقطة (Four Point Flexural Strength)

ويتميز هذا الاختبار عن سابقه بكونه يقلل من احتمالية ان تتأذى عينة الاختبار نتيجة اجهاد الانضغاط والشكل (2) يوضح طريقة اجراء اختبار متانة الانحناء رباعي النقطة ويمكن حساب متانة الانحناء من العلاقة [5] :-

$$F.S = 3PL/4bd^2 \dots\dots\dots(2)$$

حيث ان: L اقصى حمل تتحمله العينة (N)، D سمك العينة (mm)، L البعد بين نقطتي التحميل (mm)، و B عرض العينة (mm).

توجد دراسات متعددة في هذا المجال ومن ضمنها الدراسة [6] حول تأثير التدعيم بالألياف على بعض الخصائص الفيزيائية لمادة متراكبة من البولي استر غير المشبع والياف الكفلر، حيث توصلت الى ان فشل المادة المتراكبة الخاضعة لاختبار الانحناء ثلاثي النقطة يمكن ان يكون ناتج

عن تأثير اجهادات الشد والقص والانضغاط معا حيث تظهر الشقوق للمادة عند مناطق العيوب التي تتركز فيها الاجهادات ومن ثم تنمو هذه الشقوق بصورة سريعة جداً بعد حصول كسر بسيط في الليف مما يقود الى الفشل النهائي عند اجهاد واطى نسبياً. وبعد حساب قيم متانة الانحناء (Flexural Strength) لجميع النماذج وجد ان قيمها قد تحسنت بعد تدعيم الراتنج بألياف الزجاج كما انها قد انخفضت مع ارتفاع درجات الحرارة.

وقد بينت دراسة اخرى [7] اجريت على خاصيتي الزحف ومتانة الانحناء لمترابكات الايبوكسي المدعمة بألياف الزجاج حيث تم اجراء الاختبارات عند درجة حرارة الغرفة فظهرت النتائج ان زيادة الكسر الحجمي للالياف يزيد من قيم متانة الانحناء واجهاد القص للعينات كافة كما اظهرت النتائج ان اتجاه الالياف ضمن المادة المترابكة له تأثير واضح على سلوك المادة حيث تزداد تلك القيم للعينات المدعمة بألياف الزجاج احادية الاتجاه مقارنة بالعينات المدعمة بألياف الزجاج عشوائية الاتجاه.

يهدف بحثنا الحالي الى دراسة سلوك الانحناء وتحديد قيم متانة الانحناء (Flexural Strength) في حالتنا الاختبار ثلاثي ورباعي النقط ومقارنة النتائج لكل منهما على العينات القياسية المحضرة من الايبوكسي النقي (غير المسلحة) واخرى مسلحة بالياف الزجاج المقطعة نوع (E-glass).

الجانب العملي

* عملية القولية وتحضير النماذج :-

1- المواد المستخدمة لتحضير الراتنج والمادة المترابكة:-

- المادة الاساس : وهي راتنج الايبوكسي نوع (Quickmast105) وهي بشكل سائل شفاف قابلة للتصلب باضافة مادة مصلدة (hardener) بنسبة (3:1).
- المادة المدعمة : وهي الياف الزجاج المقطعة نوع (Chopped E-glass) كما موضح في الشكل (3).

2- طريقة القولية اليدوية (Hand lay-up) :-

تم تحضير المصبوبات لكل من الراتنج بمفرده والمادة المترابكة باستخدام تقنية القولية اليدوية بحيث تم اضافة الراتنج للقالب وحسب الوزن المحدد لحجم القالب وفي حالة تحضير المادة المترابكة اضيفت كمية قليلة في داخل القالب وبعدها تم توزيع الالياف بصورة منتظمة على جميع اجزاء القالب ومن ثم تم اضافة الكمية المتبقية من الراتنج واستخدمت رولة الطلاء لغرض اشباع

الالياف بالمادة الراتنجية من كل جوانب القالب كما موضح في الشكل (4). علما بان الكسر الحجمي للالياف هو (20%) وعلى اساسه تم حساب كتلة كل من الراتنج والالياف. والشكلين (5,6) يوضحان النماذج القياسية المحضرة في البحث والمقطعة حسب المواصفة القياسية (ASTM D790) .

* طريقة اجراء اختبار الانحناء :-

1- اختبار الانحناء ثلاثي النقطة:-

يتم تثبيت القطع كما موضح في الشكل (7) حيث يتم وضع قاعدة نقطتي الارتكاز (المساند) في قاعدة المكبس الهيدروليكي ثم توضع عينة الاختبار على نقطتي الارتكاز ويتم تثبيت نقطة التحميل (اداة الغرز او الحمل) في القاعدة العليا من المكبس بحيث تكون نقطة التحميل في منتصف العينة بعدها ترفع قاعدة المكبس الهيدروليكي بواسطة ذراع موجودة في الجهاز الى الاعلى الى ان يصبح هناك تماس بين سطح العينة واداة الغرز في اعلى الجهاز ومن ثم نسلط قوة بمقدار 100 N ونقرأ مقدار الانحراف الحاصل للعينة عن طريق الفيرنية الالكترونية المثبتة في المكبس وبعدها نستمر بزيادة الحمل المسلط بنفس المعدل وتتؤخذ قراءة الفيرنية في كل مرة الى حين حدوث الفشل النهائي في العينة.

2- اختبار الانحناء رباعي النقطة:-

تم اتباع نفس الخطوات في حالة اختبار الانحناء ثلاثي النقطة ولكن تم تثبيت نقطتي ارتكاز مع (اداتي حمل او غرز) بدلا من الواحدة كما موضح في الشكل (8).

النتائج والمناقشة

ان العديد من الهياكل المصنوعة من مواد متراكبة تتعرض الى تشوهات الانحناء لذا فأنها يجب ان تقاوم الاجهادات المركزية المسلطة عليها لذلك يعد اختبار متانة الانحناء من الاختبارات المعقدة كونه يتضمن أكثر من نوع من الإجهادات مثل اجهاد الشد في طبقة المقطع السفلي، واجهاد الانضغاط في طبقات المقطع العليا، واجهاد القص في الجزء الوسطي من العينة أحيانا تتغلب أحدها على الأخرى وتسبب في فشل المادة ككل والشكل (9) يوضح اجهادات الانضغاط والشد التي يقع النموذج تحت تأثيرها [8] .

ان انحناء عارضة مصنوعة من مادة متراكبة غالبا ما يحفز نشوء تشققات على السطح البيني (Interfacial Cracks) وتتمو هذه التشققات على طول المستوى الوسطي من العارضة [9]

اجريت دراسات سابقة [10,11,12] حول تحديد قيم متانة الانحناء بطريقة الاختبار ثلاثي النقطة واطهرت اهمية هذا الاختبار في تركيز الاجهادات عند نقطة محددة تقع عند منتصف نموذج الاختبار وبالتالي حصول الفشل عند تلك النقطة.

اجري اختباري الانحناء ثلاثي ورباعي النقطة على النماذج المحضرة في بحثنا الحالي من الايبوكسي النقي وكذلك الايبوكسي المسلح باللياف الزجاج المقطعة والشكل (10) يمثل مقدار اقصى قوة انحناء (F_{max}) واللازمة لكسر عينة الايبوكسي النقي (غيرالمسلح) في اختباري الانحناء ثلاثي ورباعي النقطة ومنه نلاحظ ان قوة الانحناء اللازمة لكسر نفس العينة تكون اعلى في حالة الاختبار رباعي النقطة منها في حالة الاختبار ثلاثي النقطة ويعزى سبب ذلك الى تركيز الاجهادات عند نقطة منتصف العينة يقود الى فشل العينة عند قوة اقل مقارنة بالقوة المسببة لفشل نفس العينة ولكن في حالة توزع الاجهادات على منطقتين من العينة في حالة الاختبار رباعي النقط.

اما الشكل (11) فيمثل العلاقة بين مقدار القوة المسلطة ومقدار الانحناء الحاصل لعينة المادة المتراكبة من الايبوكسي واللياف الزجاج المقطعة. نلاحظ من القيم القصوى لقوة الانحناء التي تسبب الكسر للعينة تكون مختلفة في حالة التدعيم عن تلك في حالة الايبوكسي بدون تدعيم في نوعي الاختبار ويعود سبب ذلك الى وجود الالياف ضمن تركيب الايبوكسي يساعد على توزيع الاجهادات بشكل متساوي تقريبا على جميع اجزاء المادة المعرضة لاجهاد الانحناء وبالتالي يحدث الفشل بعد حصول الكسر لكل من الالياف والمادة الاساس (الايبوكسي) علاوة على فشل السطح البيني بينهما. وعلى الرغم من فشل المادة المتراكبة عند قوة انحناء اقل في الاختبار الرباعي عن الثلاثي مقارنة بالمادة غير المدعمة الا ان المادة المتراكبة تعاني من مقدار انحراف اعلى (اي انها قابلة لحصول التشوهات) وبشكل تدريجي في الاختبار الثلاثي الى حين وصولها الى حد الفشل النهائي وبالتالي الكسر.

الشكل (12) يوضح صورة فوتوغرافية للنماذج قيد البحث ومنه نلاحظ حصول الفشل لبعض العينات المسلحة دون حدوث الكسر التام.

وبعد تطبيق المعادلات الخاصة بحساب متانة الانحناء للمادتين قبل وبعد التسليح وفي حالتها الاختبارين تم التوصل الى النتائج الموضحة في الشكلين (13) و(14) والتي نلاحظ من خلالها تضاعف قيم متانة الانحناء الى عدة مرات بعد التسليح باللياف الزجاج عن القيم قبل التسليح وكذلك يظهر لنا بوضوح ان مقاومة المادة للتشوهات تحت تأثير اجهادات الانحناء تكون اعلى في الاختبار ثلاثي النقط ولذلك تظهر نتائج متانة الانحناء اعلى في هذا الاختبار منها في الاختبار الرباعي النقط.

وبعد اجراء الاختبارات تم فحص العينات مجهريا لدراسة طبيعة سطح الكسر الحاصل للعيينة قبل وبعد التدعيم ولكلا الاختبارين والشكلين (15) و (16) تمثل مورفولوجيا سطوح الكسر للعينات قيد الفحص. حيث نلاحظ طبيعة سطح الكسر للايبوكسي غير المدعم في الشكل (15a) مع ظهور بعض المناطق الناعمة واللماعة كانها مرآة ومناطق خشنة ومظلمة في اجزاء اخرى من السطح مما يعني ظهور خصائص الكسر الهش في بعض مناطق سطح الكسر في حين تظهر خصائص الكسر المطيلي في مناطق اخرى منه.

ان نتائج فحصنا هذا تتفق مع ماتوصلت اليه الدراساتين [13,14] التي تم فيهما تحديد قيم متانة الانحناء لنماذج مصنعة من مادة الايبوكسي ومسلحة باللياف الزجاج المحاكاة بشكل حصيرة (woven roving) واخرى مدعمة بهجين من الياف الزجاج والكاربون على التوالي.

الاستنتاجات:-

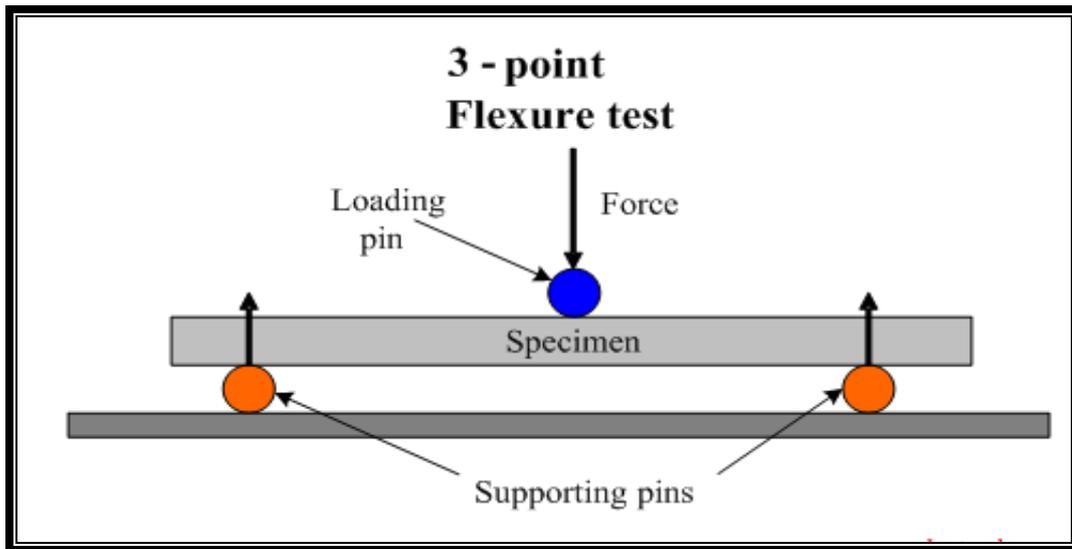
- ١- اثبتت النتائج ان قيم متانة الانحناء للايبوكسي تتضاعف الى عدة مرات بعد تسليحه باللياف الزجاج المتقطعة وبكسر حجمي لللياف قدره (20%).
- ٢- قد لا يحدث الانفصال التام للعينات المسلحة الخاضعة لاجهاد الانحناء في حالة الاختبار رباعي النقط ولكن يحدث الكسريشكل واضح في حالة الاختبار ثلاثي النقط.
- ٣- ان قيم متانة الانحناء لكلا نوعي المادة (المسلحة وغير المسلحة) تكون اعلى في حالة اختبار الانحناء ثلاثي النقط من نظيرتها في الاختبار الرباعي النقط.
- ٤- من خلال الفحص المجهرى لوحظ بان طبيعة سطوح الكسر للعينات قبل التسليح وبعده في كلا حالتي الاختبار تكون حادة،هشة وناعمة حيث تتضمن مناطق مضيئة لامعة واخرى مظلمة.

المصادر:-

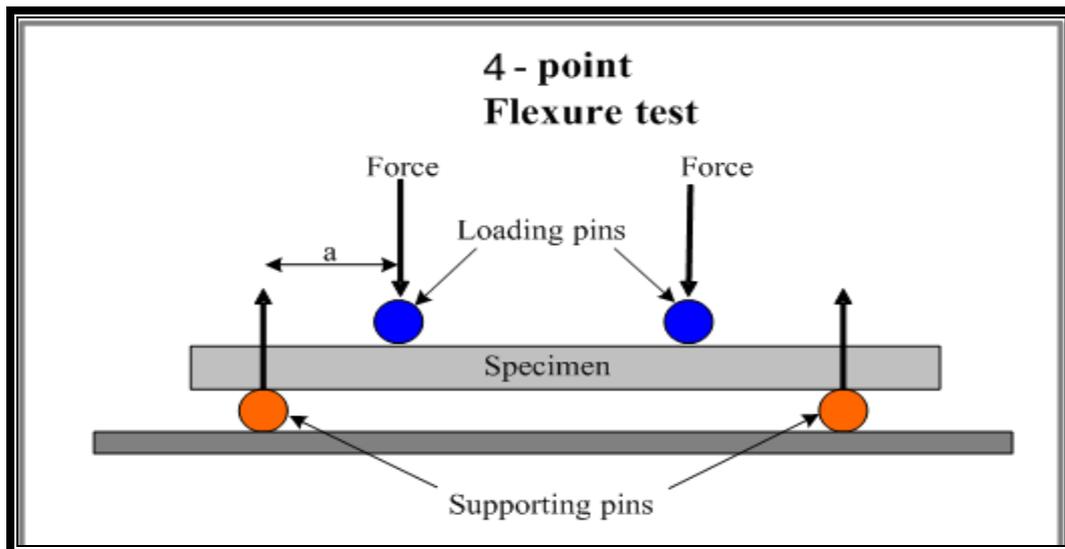
- [1] محمود نديم نحاس، "أحدث التطورات في مجال المواد المركبة- المواد المركبة الصديقة للبيئة والقابلة لإعادة الاستخدام" أستاذ كلية الهندسة، جامعة الملك عبد العزيز، جدة ، المملكة العربية السعودية، المجلد.16، العدد.1، ص.(77-102)، (2005).
- [2] Karina M. Holia O., Dawan A.H. and Anung S., Effect of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber on The Physical and Mechanical Properties of Fiber Glass Reinforced Polyester Resin, "Journal of Biological Sciences", Vol.8, No.1, PP.(101-106), (2008).
- [3] Davallo M., Pasdar H., Mohseni M., Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Resin, "International Journal of ChemTech Research", Vol.2, No.4, PP.(2113-2117), (2010).
- [4] سهامة عيسى صالح ، كاظم مطر شبيب و قحطان عدنان حمد ، دراسة الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة ذات اساس بوليمري مقواة بالالياف والدقائق، "مجلة الهندسة والتكنولوجيا"، المجلد 28، العدد.4 ، ص.(81-93)، (2010).
- [5] Ali I. Al-Mosawi, Muslim M. Ali , Ali R. Yousif and Saad M. Hamza, Theoretical Estimation To Flexural Strength of Araldite Composite Used for Manufactured Electrical Circuits Plates, "Academic Research International", Vol.3, No.3, PP.(34-37), (2012).
- [6] اوهام محمد حميد ،"دراسة تأثير التدعيم بالالياف على بعض الخصائص الفيزيائية لمادة متراكبة" ، رسالة ماجستير، قسم العلوم التطبيقية ، الجامعة التكنولوجية، (2000) .
- [7] Emmad S. AL-Hassani , Sheelan R. Areef , The Effect of Fiber Orientation on Creep Behavior and Flexural Strength in Epoxy Composites, "Eng. & Tec. Journal" , Vol.28, No.7, PP.(1281-1289), (2010).
- [8] Azzam A. and Li W., An Experimental Investigation on the Three-Point Bending Behavior of Composite Laminate, "Materials Science and Engineering", Vol. 62, PP.(1-8), (2014).
- [9] Ali I. Al-Mosawi, Mustafa A. Rijab, Nawal Abdullah, Saleh Mahdi, Flexural Strength of Fiber Reinforced Composite, "International of Enhanced Research in Science Technology & Engineering", Vol.2, Issue.1, PP.(1-3), (2013).
- [10] Mustafa G., Duygu K., Nuran Y. and Esra K., The Evaluation of Flexural Strength of Composite Resin Materials With and Without Fiber, "Dentistry", Vol.4, Issue.9, 1000259, (2014).
- [11] Sharafeddin F, Alavi A, Talei Z., Flexural Strength of Glass and Polyethylene Fiber Combined With Three Different Composites, Journal of Dentistry, Vol.14, No.1, PP.(13-19), (2013).
- [12] Biswas S., Mechanical Properties of Bamboo-Epoxy Composites a Structural Application, " Advances in Materials Research", Vol.1, No.3, PP.(221-231), (2012).

[13] Rathnakar G., Shivanand H.K., Effect of Thickness on Flexural Properties of Epoxy based Glass Fiber Reinforced Laminate, "International Journal of Science and Technology", Vol.2, No.6, PP.(409-412),(2012).

[14] Poyyathappan K., Bhaskar G.B., Pazhanivel K. N.Venkatesan, Tensile and Flexural Studies on Glass – Carbon Hybrid Composites Subjected to Low Frequency Cyclic Loading, "International Journal of Engineering and Technology (IJET)", Vol.6, No.1, PP.(83-90), (2014).



الشكل (1) طريقة اختبار متانة الانحناء ثلاثي النقطة (3-point bending test)



الشكل (2) طريقة اختبار متانة الانحناء رباعي النقطة (4-point bending test).



الشكل (3) اليف الزجاج نوع (E) المستخدمة لتدعيم راتنج الايبوكسي.



الشكل (4) طريقة القولبة اليدوية (Hand lay-up) وتقنية استخدام الرولة لغرض تشرب الالياف بالمادة الراتنجية (Epoxy).



الشكل (5) بعض عينات الايبوكسي غير المسلحة المحضرة للفحص .



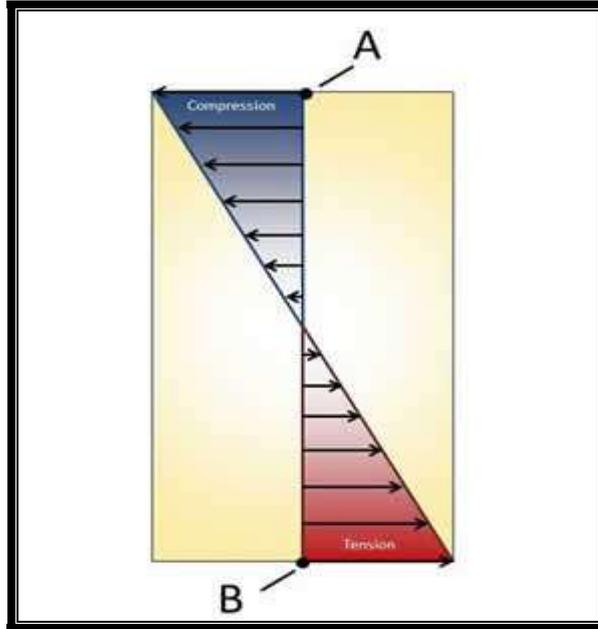
الشكل (6) بعض العينات المسلحة المحضرة للفحص .



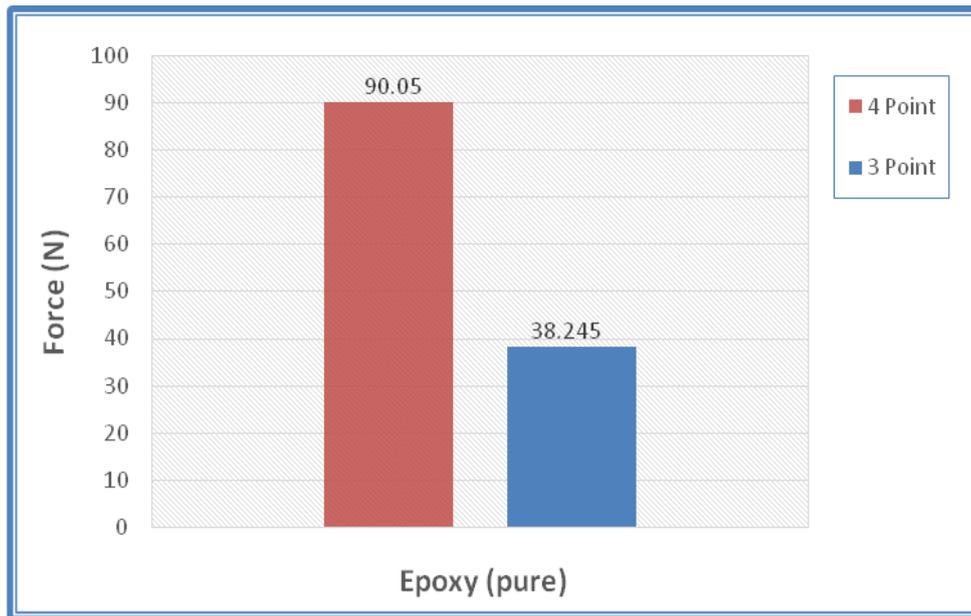
الشكل (7) تثبيت القطع في المكبس (في حالة اختبار الانحناء ثلاثي النقطة).



الشكل (8) تثبيت القطع في المكبس (في حالة اختبار رباعي النقطة).

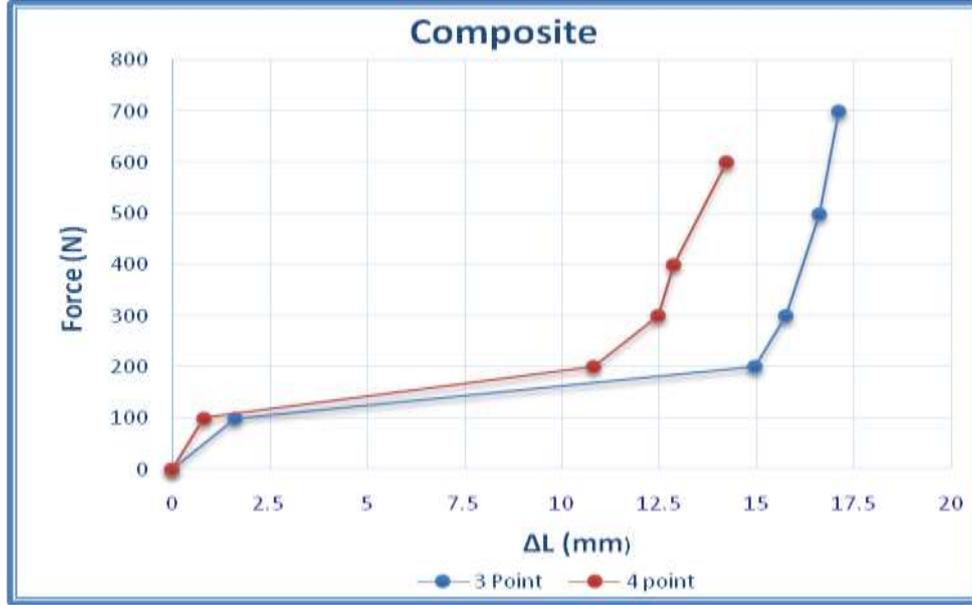


الشكل (9) اجهادات الانضغاط والشد عند النقطتين A و B للنموذج على التوالي.



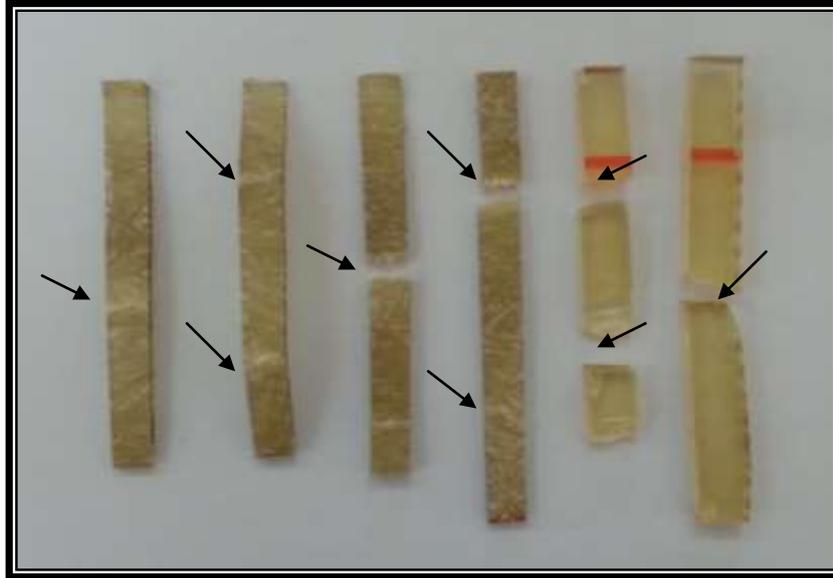
Force =90.05N (in 4-point bending test)
 Force = 38.245N (in 3-point bending test)

الشكل (10) مقدار اقصى قوة انحناء (F_{max}) اللازمة لكسر عينة الايبوكسي غير المسلحة في اختباري الانحناء ثلاثي ورباعي النقطة.



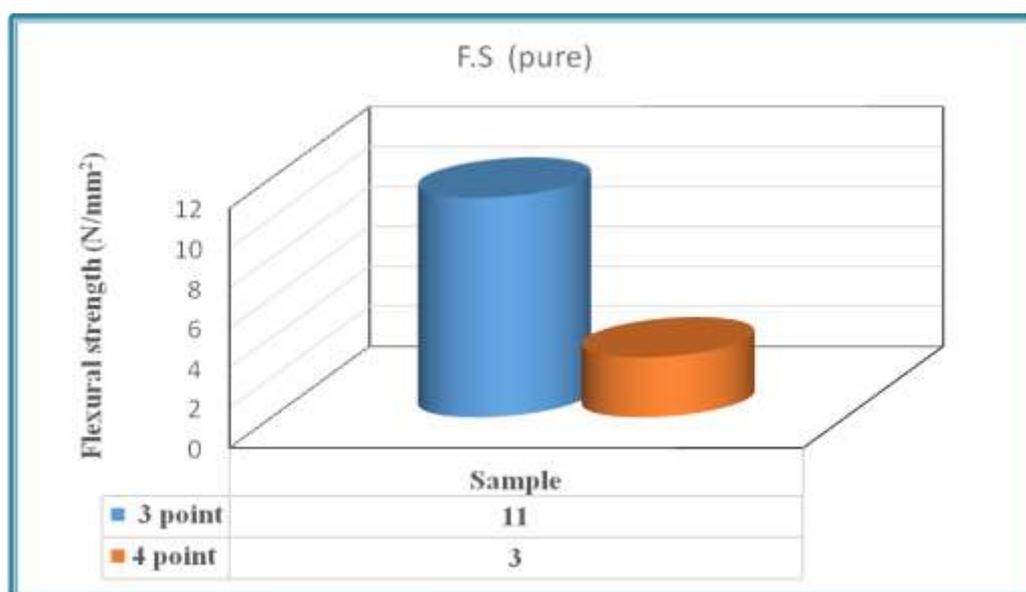
Force = 600N (in 4-point bending test)
Force = 700 N (in 3-point bending test)

الشكل (11) العلاقة بين مقدار القوة المسلطة ومقدار الانحناء الحاصل لعينة المادة المتراكبة من الالبيوكسي والياف الزجاج المتقطعة.

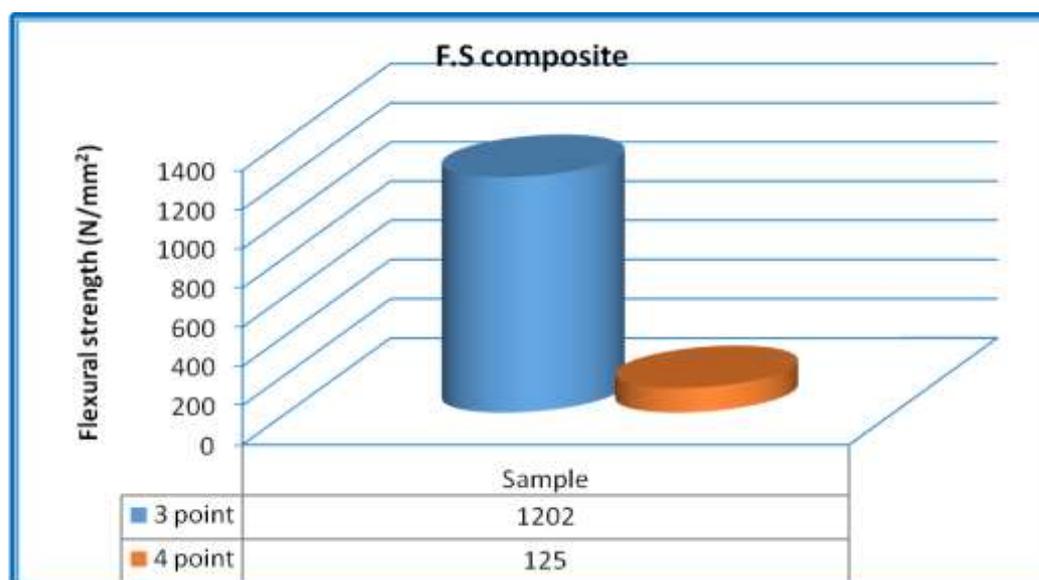


الشكل (12) صورة فوتغرافية لبعض العينات المسلحة وغير المسلحة بعد تعرضها لاجهادات الانحناء ثلاثي ورباعي النقط.

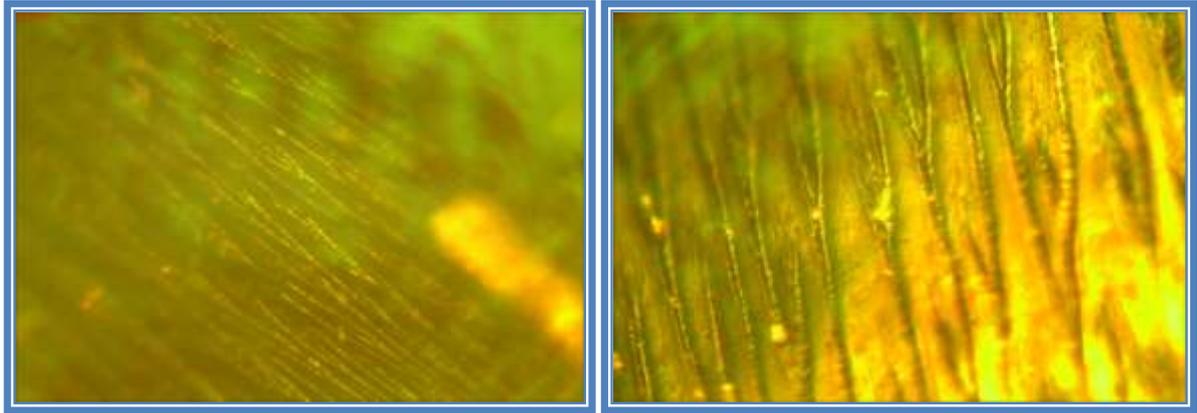
* العينة المؤشر عليها بسهم واحد خضعت لاختبار الانحناء ثلاثي النقط والتي تم التأشير عليها بسهمين خضعت لاختبار الانحناء رباعي النقط.



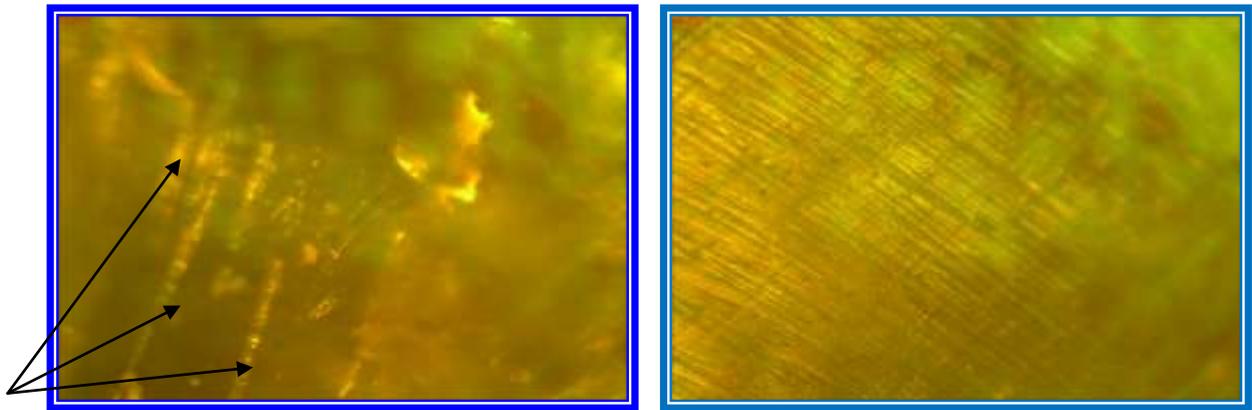
الشكل (13) قيم متانة الانحناء للايبوكسي قبل التسليح في اختباري الانحناء ثلاثي ورباعي النقطة.



الشكل (14) قيم متانة الانحناء للايبوكسي المسلح باللياف الزجاج المقطعة في اختباري الانحناء ثلاثي ورباعي النقطة.



الشكل (15) صور مجهرية لمنطقة سطح الكسر (a) لللايوكسي غير المدعم (b) لللايوكسي المدعم باللياف الزجاج بعد اختبار الانحناء ثلاثي النقطة.



الشكل (16) صور مجهرية لمنطقة سطح الكسر (a) لللايوكسي غير المدعم (b) لللايوكسي المدعم باللياف الزجاج بعد اختبار الانحناء رباعي النقطة (الاسهم تشير الى اللياف الزجاج).