دراسة الخواص الميكانيكية للبولي أستر غير المشبع المدعم بمواد تقوية مختلفة وهجينية

ليلى عبد السلام محمد
قسم الفيزياء / كلية التربية
جامعة الموصل

الاستلام	القبول
2011 / 08 / 11	2011 / 12 / 08

Abstract:

The work focuses on the preparation of polymer matrix composite materials by hand lay up the composite materials were prepared from the unsaturated polyester resin as matrix reinforced by intensification materials (Si, Al_2O_3, and hybrid of both reinforcement ($Si+Al_2O_3$)) with weight fraction of %25.

This research includes studying the mechanical properties for these materials composite, the mechanical tests were done at room temperature, and they include (bending, impact, hardness, compression, tensile).

Results of the work showed that mechanical properties were for composite material reinforced by (Si) such that, they have higher compressive strength, impact strength, and more ductile in the tensile, and the composite material reinforced by alumina had higher value of young's modulus than the polyester itself. also the values of hardness for the composite material is a little low than material of un reinforced polyester.

الخلاصة:

تم في هذا البحث تحضير مواد متراكبة ذات أساس بوليمري بطريقة الصب اليدوي (hand lay-up) وقد حضرت المواد المتراكبة من البولي استر غير المشبع كمادة أساس مدعمة بمواد تقوية (Al_2O_3,Si, وخليط هجين من المادتين ($Si+Al_2O_3$)) بكسر وزني25٪.

تضمن البحث دراسة الخواص الميكانيكية لهذه المواد المتراكبة السابقة الذكر التي تمثلت باختبار (الانحناء, الصدمة, الصلادة, الانضغاطية, متانة الشد) التي أجريت عند درجة حرارة الغرفة.

وقد أظهرت نتائج البحث إن أفضل خواص ميكانيكية كانت للمادة المتراكبة المدعمة بمادة السليكون حيث أنها امتلكت أعلى قيم لمقاومة الانضغاطية ومقاومة الصدمة, وأكثر مطيلية في حالة الشد ثم تليها المادة المتراكبة المدعمة بالا لومينا حيث كان لها اكبر قيمة لمعامل يونك مقارنة مع المادة غير المدعمة وكانت قيم الصلادة للمواد المتراكبة منخفضة قليلا مقارنة مع مادة البولي استر غير المدعمة.

المقدمة:

إن دراسة الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية من الأمور المهمة جداً التي يجب أخذها بنظر الاعتبار لأنها تحدد سلوكية هذهِ المواد تحت تأثير الإجهاد المسلط عليها , وتحت تأثير مختلف الظروف الخارجية من ضغط ودرجة حرارة وغيرها من العوامل الأخرى التي توثر كثيرا على الخواص الميكانيكية للمواد المتراكبة ذات الأساس البوليمري [1].

تعتمد الاستخدامات الهندسية للمواد البوليمرية على خواصها الميكانيكية الجيدة وخاصة قوتها العالية علاوة على قابليتها الكبيرة على التشوه ألرجوعي وتنشأ هذهِ الازدواجية في صفات البوليمر من طبيعة تكوينها الكيميائي الذي يكون مسؤولا عن مرونتها و حشو جزيئاتها الكبيرة [2].

إن المواد المتراكبة ذات أساس البوليمري تعتبر أفضل أنواع المواد المتراكبة وأكثرها شيوعا لما يتميز به البوليمر المدعم من صفات فيزيائية وميكانيكية عالية.

إن المادة المتراكبة تتكون من مادتين هما: المادة الأولى وتشمل المادة الأساس (Matrix Material) والمادة الثانية وتشمل مواد تقوية (Reinforced Material) ترتبط هاتان المادتان ببعضهما عن طريق سطح رابط يدعى السطح البيني (Interface) [3].

إن صفات المواد المتراكبة ذات الأساس البوليمري تحددها صفات المكونات المضافة إلى البوليمر وطبيعة تركيبها وطبيعة التداخل مابين البوليمر والمواد المضافة كذلك النسبة المئوية الوزنية أو الحجمية للمواد المضافة التي تلعب دورا كبيرا في التأثير على الخواص الميكانيكية للمادة المتراكبة ذات الأساس البوليمري في أي حال من حالات المادة المتراكبة فانه لا يوجد هناك أي تفاعل كيميائي ملحوظ ومميز مابين المادتين (المادة الأساس ومادة التدعيم) [4].

إن آلية نقل الإجهاد من المادة الأساس إلى مواد التدعيم هي أهم مبدأ لتدعيم المادة الأساس بمواد ذات معامل مرونة ومقاومة عالية تعتمد بالدرجة الأساس على قوة الربط بين هذه المواد أي انه بانعدام هذا الرابط لا يكون هناك نقل للقوة وبالتالي تتصرف مواد التدعيم كفجوات داخل المادة الأساس وهذه هي احد الأسباب التي تؤدي إلى الفشل في صناعة المواد المتراكبة [5].

إن المواد المتراكبة للبوليمر تستعمل في عدة إشكال مختلفة فهي تشمل أجزاء صغيرة في الصناعة ثم إلى التكنولوجيا المتقدمة. فهي تدخل في صناعة الأنابيب والعجلات المسننة وفي صناعة هياكل السيارات ,كذلك تظهر في الطراز الحديث جدا من السيارات كالمصدات و الشبابيك الأمامية والقطع الخارجية الواقية كما إن المواد المتراكبة للبوليمر زادت أهميتها باعتبارها المواد البديلة للمعادن في التطبيقات داخل الطائرات, و وسائل النقل الأخرى وكذالك في الصناعات الالكترونية[6].

إن الغرض من البحث هو تحضير ودراسة الخواص الميكانيكية لمتراكبات بوليمرية مدعمة بمواد مختلفة للتعرف على تأثير هذه المواد المدعمة على الخواص الميكانيكية للبولي استر غير المشبع.

الجانب العملي:

1- المواد المستخدمة

إن المواد المستخدمة في تصنيع عينات البحث مكونة من المادة الأساس البوليمرية (البولي استر غير المشبع), والمصنع من قبل شركة (Civitanova) الايطالية, يكون هذا الراتج على شكل سائل لزج شفاف حيث يخلط مع المصلد بنسبة 2%. و مواد التقوية التي هي مساحيق الالومينا Al_2O_3 باودر بلون ابيض والمصنع من قبل شركة (BDH), ومساحيق السليكون Si باودر بلون رصاصي غامق والمصنع من قبل شركة (Fluka) البريطانية.

كما تم تحضير قوالب (مصنوعة من جل السليكون) لغرض صب العينات فيها و بإحجام قياسية تناسب كل اختبار من الاختبارات التي أجريت في البحث.

2- تحضير العينات:

تم تحضير ثلاثة أنواع من المواد المتراكبة المدعمة بمواد تقوية (السليكون , الالومينا , خليط السليكون والالومينا) وبنسب وزنية25%. حيث حضر الراتنج المعالج بالمصلد مع الخلط المستمر لضمان عدم تكون الفقاعات. وتم تهيئة الوزن المطلوب من المساحيق ثم إضافتها إلى الراتنج كل على حدة مع الخلط المستمر ثم صبها في القوالب المهيئة لعمل العينات. للحصول على ثلاث أنواع من المواد المتراكبة هي 1. مادة متراكبة مدعمة بالسليكون 2. مادة متراكبة مدعمة بمادة الالومينا 3. مادة متراكبة مدعمة بخليط من السليكون والالومينا كما حضرت عينات لمادة البولي استر غير المشبع بدون تدعيم. ثم بعد ذلك تتم عملية المعالجة (curing) بدرجة ($50c^0$) لمدة ثلاث ساعات و ذلك لإتمام التفاعلات الكيمائية و لتقليل الاجهادات الداخلية المتكونة إثناء عملية التصلب [7]. بعد ذلك تم إجراء الاختبارات التالية:

1- اختبار الانحناء

لغرض حساب معامل المرونة لجميع العينات المهيئة لهذا الاختبار استخدم جهاز اختبار الانحناء وان الطريقة التي تم بواسطتها هذا الاختبار تعرف بالاختبار الثلاثي النقطة (three Points test). تثبت العينة في الجهاز من طرفيها على مرتكزين وتعلق الكتل (Masses) بصورة تدريجية على الحامل المثبت عند منتصف العينة مما يسبب انحنائها تدريجيا ومن خلال مؤشر مقياس الانحراف يمكن قراءة مقدار الانحراف (Deflection) الحاصل في العينة ذات الإبعاد المعلومة.

2- اختبار مقاومة الصدمة

يتم فيه حساب مقاومة الصدمة للمواد المتراكبة وباستخدام طريقة جاربي لاختبار الصدمة (Charpy Impact Test). وقد تم استخدام عينات حسب المواصفات القياسية.

3- اختبار الصلادة

تم قياس الصلادة لجميع العينات المحضرة لهذا الغرض باستخدام طريقة نوع صلادة روكويل (Rockwell Hardness) وبتسليط حمل مقداره 60kg, والجهاز مصنع من قبل شركة (Karl Kolb) الألمانية.

4- اختبار مقاومة الانضغاط

تم إجراء اختبار الانضغاطية لحساب مقاومة الانضغاط للعينات قيد البحث باستعمال جهاز المكبس الهيدروليكي.

5- اختبار الشد

تم إجراء اختبار الشد للعينات ذات الإبعاد القياسية المخصصة لهذا الاختبار باستخدام جهاز اختبار الشد مصنع من قبل شركة (WOLPERT) السويسرية وتم تسجيل كل من القوة المسلطة بوحدة النيوتن ومقدار الاستطالة ΔL ثم أجراء الرسم البياني بينهما.

3- النتائج والمناقشة:

1- اختبار الانحناء

إن الهدف الرئيسي من اختبار الانحناء هو التعرف على السلوك الخطي أو ما يدعى أحياناً (Hooken Behavior) للمادة الواقعة تحت تأثير الحمل المسلط بالاتجاه العمودي على المستوي السطحي لها. يلاحظ من الشكل (1) الذي يعطي العلاقة بين (الكتلة) الحمل المسلط

والانحراف, إن الانحراف (Deflection) يتناسب طرديا مع الحمل المحدث له. فعند زوال تأثير الحمل المسلط فان المادة تسترجع حالتها الأولى أي انه ضمن حد التشوه المرن حيث يتناسب الانفعال تناسب طردي مع الإجهاد ونستنتج (2) و (1) [8].

$$E = \frac{\text{Mass}}{\textbf{Deflection}} \quad \frac{gL^3}{48I} \qquad \ldots\ldots\ldots \textbf{(1)}$$

$$I = \frac{bd^3}{12} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \textbf{(2)}$$

E: معامل يونك

g: التعجيل الأرضي

L: طول العينة

b: عرض العينة

d: سمك العينة

I: عزم الانحناء الهندسي

وعلى ضوء نتائج هذا الاختبار وجد أن المادة المتراكبة المقواة بالالومينا وكذلك المقواة بخليط من الالومينا و السليكون كانت ذات قيم معاملات مرونة أعلى من قيم معاملات مرونة المواد المتراكبة الأخرى التي كانت ضمن الاختبار وكما موضح بالشكل (2) والجدول (1) وذلك يعود إلى عملية التجانس الحاصلة ما بين مواد التقوية الالومينا والسليكون, فعند تسليط الإجهاد على المادة المتراكبة سوف يتوزع الإجهاد على كل من المادة الأساس ومواد التسليح المتمثلة بالدقائق بالإضافة إلى قيم معامل المرونة العالي للالومينا والتي تصل إلى 400GPa تقريبا. ولكون المواد الراتنجية مواد ذات طبيعة لدائنية أي أنها تبدي معدلات انفعال عالية تحت تأثير اجهادات الانحناء لذلك فان عملية إضافة الدقائق للمادة الأساس (راتنجية) سيعمل على تحسين قيم معامل المرونة للمادة المتراكبة. ونظرا لان المواد المتراكبة المقواة بالالومينا والمقواة بخليط الالومينا والسيلكون أعطت معامل مرونة أعلى من المواد المتراكبة الأخرى فان ذلك يعود إلى أن خليط الالومينا و السليكون عمل على زيادة خاصية التجانس والتي لها تأثير كبير على خاصية المرونة [9].

لذلك فان خليط الالومينا والسيلكون المتجانس يعطي قيم معامل مرونة عالية عندما تتواجد في المادة المتراكبة ويعود ذلك إلى إن الدقائق سوف تتوزع بصورة ممتدة على طول العينة وبالاتجاه المستعرض الذي يعمل على منع التشوه في المادة الأساس. وقد اثبت العديد من الباحثين إن العينات المقواة بخليط متجانس من الدقائق تعطي معامل مرونة أعلى من العينات الأخرى ويعزى ذلك إلى تأثير الحافات الحرة (free edges) التي تؤدي إلى تمركز الاجهادات

عند الحافات وبالتالي نشوء شقوق أولية تؤدي إلى توهين العينة نسبة إلى اجهادات القص بين الطبقات [9].

كما نلاحظ إن المادة المتراكبة المقواة بالالومينا لها معامل مرونة اكبر قليلا من معامل المرونة للمادة المتراكبة المقواة (بالالومينا والسيلكون معا) وقد يعود ذلك لكون معامل المرونة للالومينا أعلى من معامل المرونة للسيلكون[10].

2- اختبار الصدمة

إن اختبار الصدمة هو محاولة لقياس الممانعة لنمو الشق إذ إن ممانعة أي مادة صلبة لنمو شق ما تعتمد على ماهية ميكانيكية امتصاصية الطاقة المتواجدة عند مقدمة الشق إن مبدأ عمل هذا الاختبار يستند إلى إن بعضا من الطاقة الأولية الموجودة كطاقة كامنة في المطرقة تمتص من قبل العينة خلال حدوث الكسر .حيث إن الطاقة الممتصة من قبل العينة تعتمد على طبيعة المكونات الداخلة في تصنيع المادة المتراكبة ومدى مقاومتها للإجهاد الخارجي المسلط عليها.[4] [11]. تم القيام بإجراء اختبار الصدمة بإتباع طريقة جاربي (Charpy Impact) والذي يعد من الفحوصات التي يمكن اللجوء إليها في دراسة سلوك المواد الواقعة تحت تأثير قوى سريعة.

تم حساب مقاومة الصدمة (Impact strength) من العلاقة الآتية [4]:

$$\text{مقاومة الصدمة} = \frac{\text{طاقة ا لكسر}}{\text{مساحة المقطع العرضي للعينة}} \quad \text{.....} \quad (3)$$

أوضحت نتائج هذه الدراسة المبينة في الشكل (3) إن أفضل مقاومة صدمة كانت لنماذج المادة المتراكبة المدعمة بالسيلكون تم تليها المادة المتراكبة المدعمة بالا لومينا مقارنة بالمادة المتراكبة المدعمة بخليط السليكون والالومينا والمادة غير المدعمة وكما أن الجدول (1) يشير إلى قيم مقاومة الصدمة التي تم الحصول عليها لهذه النماذج.

حدث الفشل في المادة الرانتجية غير المدعمة الخاضعة لفحص الصدمة بتحطيم الارتباطات أو القوى بين الجزئيات في البوليمر وذالك بنمو الشروخ الأولية المحدثة بفعل اجهادات الصدمة والواقع إن هذه الشروخ المتولدة تنمو وتتكاثر بشكل كبير وسريع باتجاه السطوح البينية الفاصلة بين السلاسل البوليمرية لان القوى بين هذه السلاسل البوليمرية متمثلة بقوى فأندر- فال (Vaal_Vander) التي تتطلب طاقة قليلة للتغلب عليها, أما الشروخ الممتدة بالاتجاه العمودي على اتجاه السلاسل البوليمرية, فسوف تعمل على تحطيم تلك السلاسل خلال عملية الانتشار (propagation), ومن الجدير بالذكر إن هذا الأمر يتطلب طاقة اكبر للتغلب على تلك القوى المسؤولة عن ربط الوحدات التركيبية والمتمثلة بالأواصر التساهمية [13][8].

وبعد تدعيم المادة البوليمرية بالدقائق لوحظ إن الطاقة اللازمة لكسر البوليمر المدعم تزداد ويعود السبب في ذلك إلى طبيعة دقائق السليكون ودقائق الالومينا كل على انفراد لما تمتلكه من مقاومة صدمة عالية ومتانة عالية [12]. كما إن إضافة الدقائق إلى الراتنج الهش فان هذه الدقائق سوف تعيق نمو الشق. وان هذه الإعاقة ذات أهمية ومن الممكن إن تكون ضعفين او ثلاثة أضعاف طاقة الكسر للراتنج لوحده [15] [4]. ولكن في المتراكب ألهجيني الذي هو خليط من السليكون والالومينا نلاحظ إن مقاومة الصدمة قلت وهذا يعود للاختلاف في قيم معامل المرونة لكلا المادتين حيث إن معامل المرونة للالومينا أعلى من معامل المرونة للسليكون. كما إن لكل مادة حجم حبيبي خاص بها. وان كل ذلك يمثل مصدر للعيوب يؤدي إلى تقليل مقاومة الصدمة [14].

3- اختبار الصلادة: (Hardness Test)

تستعمل تجارب الصلادة لقياس مقاومة المادة للتشوهات اللدنة في المناطق السطحية منها وعند إجراء هذا النوع من التجارب تستخدم عادة رؤوس دقيقة من مواد صلدة لكي تستطيع إن تتغلغل في المادة الصلدة المعطاة [8].

وقد تم قياس الصلادة للنماذج المحضرة باستخدام طريقة روكويل (Rockwell Hardness) أظهرت نتائج اختبار الصلادة المبينة في الشكل (4) إن هناك انخفاض في قيم الصلادة للمواد المتراكبة المحضرة في البحث مقارنة مع البولي استر غير المدعم وان اقل قيم الصلادة هي للمادة المتراكبة المدعمة بالسليكون ثم المادة المتراكبة المدعمة بالالومينا نظرا لما تمتلكه هاتين المادتين من صفة المطيلية وهذا يطابق مع ما حصلنا عليه في اختبار الشد. أما بالنسبة للمادة المتراكبة المدعمة بالسليكون والالومينا معا, فان الصلادة لها تكون مقاربة لصلادة البولي استر غير المدعم ويكون السبب لوجود خليط السليكون والالومينا معاً الذي أدى إلى وجود قليل من الفجوات في داخل المادة مما سبب في انخفاض قيمة الصلادة قليلاً [12] والجدول (1) يبين القيم التي تم الحصول عليها لاختبار الصلادة.

4- اختبار مقاومة الانضغاط (Compressive Strength Test)

أن مقاومة الانضغاط تعرف بأنها أقصى إجهاد تتحمله المادة الجاسئة تحت الضغط العمودي وتعطى مقاومة الانضغاط من العلاقة الآتية [4]

$$\text{Compressive strength(C.s)} = \frac{\text{أقصى حمل مسلط}}{\text{مساحة المقطع العرضي}} \qquad \ldots\ldots (4)$$

أظهرت نتائج فحص مقاومة الانضغاط من خلال الشكل (5) وكذلك القيم الموجودة في الجدول (1) إن العينات المدعمة بمادة السليكون لها أعلى قيمة لمقاومة الانضغاط مقارنة مع عينات المواد المتراكبة المدعمة بالالومينا وبخليط الالومينا والسليكون وكذلك البولي استر غير المدعم وذلك نظرا لما تتمتع به دقائق السليكون من مقاومة الحمل ألانضغاطي مقارنة مع مواد التقوية الأخرى. كما إن مقاومة الانضغاط للمادة المتراكبة تعتمد على عدة عوامل منها خواص المادة الأساس ومواد التقوية وقوة الترابط وتماسك السطح البيني بين المادة الأساس والمادة المدعمة. فإذا كان السطح البيني قويا ومتينا فان متانة الانضغاط سوف تتحسن بشكل ملحوظ وتصل تقريبا إلى متانة الشد وهذا ما لاحظناه في عينات المواد المتراكبة التي حصلنا عليها مقارنة بمادة البولي استر غير المدعم, بينما في حالة كون هذا السطح ضعيفا فان المادة المدعمة سوف تنفصل بسهولة عن المادة الأساس ومتانة الانضغاط لا تصل أبدا لمستوى متانة الشد [4] [15].

5- اختبار الشد: Tensile Strength Test

إن متانة المادة ممكن أن توضح من خلال نتائج اختبار الشد (إجهاد – انفعال) والمساحة تحت منحني (إجهاد – انفعال) وحتى نقطة الكسر. فالمادة التي تكون متينة توصف بأنها قوية وذات مطيلية أي أن (tough=strength+ductility) ودائما المواد المطيلية تكون امتن من المواد الهشة, وان المواد الهشة لها نقطة خضوع عالية وشد قوي وان المساحة التي تحت منحني (إجهاد – انفعال) المادة الهشة اقل من مساحة منحني (إجهاد–انفعال) للمادة المطيلية [10].

اظهرت نتائج اختبار الشد والموضحة في الشكل (6) إن المادة المتراكبة المدعمة بمادة السليكون هي الأكثر مطيلية من بين العينات الأخرى ثم تليها المادة المتراكبة المدعمة بالالومينا لما تظهره هاتان العينتان من انفعال أطول من بقية العينات, كذلك نلاحظ أن المساحة تحت المنحني حتى نقطة الكسر تكون كبيرة لكلا العينتين و نلاحظ ظهور التشوه اللدن لكلا العينتين مقارنة مع المادة المدعمة بخليط السليكون والالومينا ومادة البولي استر غير المدعم. أما بالنسبة لمادة البولي استر غير المدعم فتوصف بأنها مادة هشة (Brittle) سريعة الكسر وليس لديها تشوه لدن قبل الكسر [10].

إن صفة المتانة التي تميزت بها المادة المتراكبة المدعمة بالسليكون والمادة المتراكبة المدعمة بالالومينا يعود إلى إن مادة السليكون ومادة الالومينا لهما مقاومة شد ومرونة عاليتين فضلا عن توزيعهما المتجانس داخل مادة البولي استر مما يخلق سطوح بينية تامة ما بين مادة الأساس ومادة التقوية علاوة على التوافقية بين المادة الأساس ودقائق السليكون وكذلك المادة الأساس ودقائق الالومينا مما أدى إلى زيادة مقاومة الشد والمتانة [12] كما أن الجدول (1) يوضح قيم اختبار الشد التي تم الحصول عليها للعينات قيد البحث.

الاستنتاجات:

إن أهم الاستنتاجات التي تم التوصل إليها خلال ها البحث تتلخص بما يلي:

1) أن إضافة مواد التقوية والتي شملت (سليكون, الالومينا, خليط السليكون والالومينا) إلى المادة الأساس البولي استر غير المشبع آدت إلى تحسين بعض قيم الخواص الميكانيكية التي أجريت في هذا البحث والمتمثلة بخواص (الانحناء– متانة الكسر – الانضغاطية– متانة الشد).
2) أظهرت كذلك نتائج البحث إن المادة المتراكبة المدعمة بمادة السليكون كان لها قيم أفضل في قياس (مقاومة الانضغاط, متانة الكسر) مقارنة مع بقية النماذج. كما ان المادة المتراكبة المدعمة بمادة السليكون تميزت بصفة المطيلية أكثر من المادة المتراكبة المدعمة بمادة الالومينا ومقارنة مع المادة المتراكبة المدعمة بخليط السليكون والالومينا وكذلك مادة البولي استر غير المدعمة واللتان تميزيتان بكونهما مواد هشة أي (Brittle).
3) إن أعلى قيمة لمعامل يونك سجلت للمادة المتراكبة المدعمة بالا لومينا لان مادة الالومينا تمتلك معامل مرونة عالي مقارنة مع مواد التدعيم الأخرى.
4) أظهرت نتائج البحث أن قيم الصلادة كانت منخفضة لجميع عينات البحث لمادة البولي استر المدعمة بمواد تقوية مختلفة مقارنة مع مادة البولي استر غير المدعم.

المصادر:

1) Brain S.MITChell. "An Introduction to Materials engineering & since for chemical & Materials engineering"1th Edition, john wily & son, Inc, (2004).

2) د. أكرم عزيز محمد, كيمياء اللدائن, دار الكتب للطباعة والنشر جامعة الموصل (1993).

3) لميس علي خلف "دراسة الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لمتراكبات البولي استر غير المشبعة والمدعمة بألياف الزجاج وألياف النايلون", رسالة ماجستير, قسم هندسة المواد, الجامعة التكنولوجية, (2006).

4) رغد حسين محمد الجنابي, "دراسة تأثير ظروف التجوية (الإشعاع والمحاليل الكيميائية) على بعض خصائص متراكبات الايبوكسي", رسالة ماجستير, قسم العلوم التطبيقية, الجامعة التكنولوجية, (2004).

5) D. Hull, "An Introduction to composite Materials", 1sted, Cambridge university pres, u.k, (1981).

6) حسنية هادي ذنون, "دراسة خصائص الصدمة والعزل الحراري والكهربائي لمتراكبات من أساس بوليمري باستخدام مالئات مختلفة", رسالة دكتوراه, قسم العلوم التطبيقية, الجامعة التكنولوجية, (2006).

7) د. بلقيس محمد ضياء الدباغ, وآخرون, "دراسة تأثير الأشعة فوق البنفسجية (UV) على بعض الخصائص الميكانيكية لمتراكبات الايبوكسي", مجلة الهندسة والتكنولوجيا, المجلد27, العدد15, (2009).

8) رولا عبد الخضر عباس الصافي, "دراسة الخصائص الحرارية والميكانيكية لمادة النوفولاك ومتراكباتها", رسالة ماجستير, قسم العلوم التطبيقية, الجامعة التكنولوجية, (2001).

9) د.علي حسن رسن, وآخرون, "تأثير درجة الحرارة والمحاليل الكيميائية على قيم معامل المرونة لمواد متراكبة هجينة", مجلة الهندسة والتكنولوجيا, المجلد28, العدد13, (2010).

10) William D. callister, JR "Fundamentals of Materials science and Engineering an Interactive (2001).

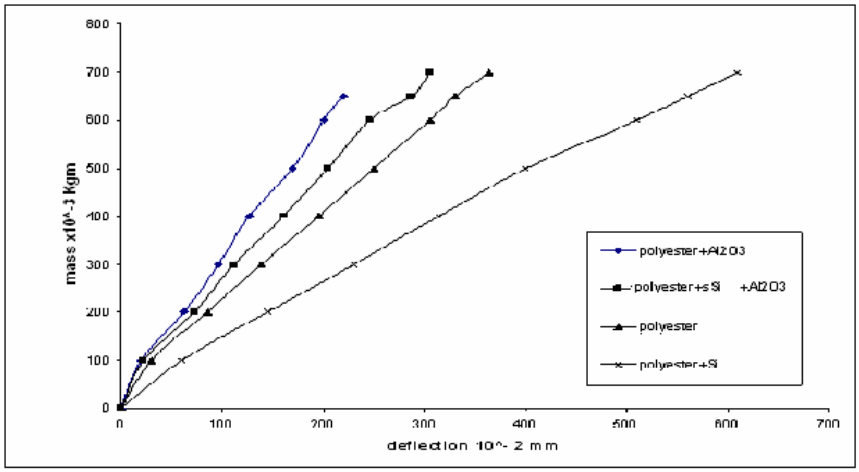
11) James p. schaffer, Ashok Saxena, stephend, D. Antolvich, Thomas H. Sanders, Jr.and Steven B. Warner "The sinence and Design of Engineering Materials", Richardsom D. Irwin. (1995)

12) د.سهامة عيسى صالح, وآخرون, "دراسة الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة ذات أساس بوليمري مقواة بالألياف والدقائق", مجلة الهندسة والتكنولوجيا, المجلد28, العدد4, (2010).

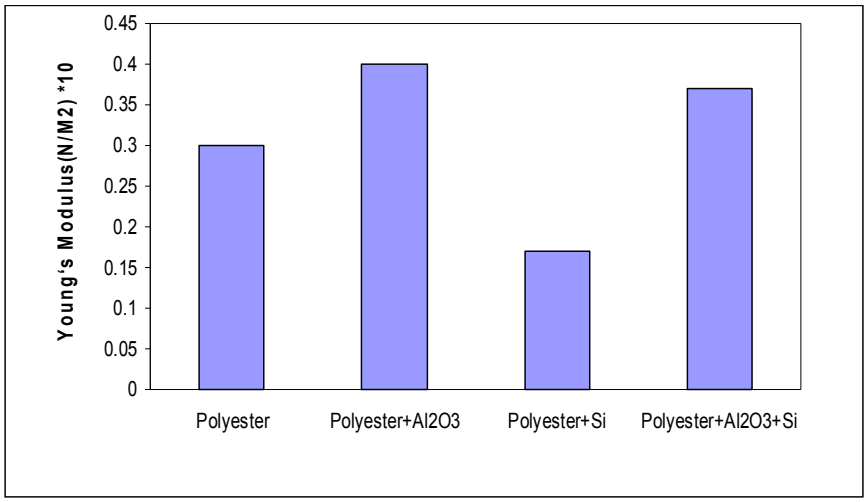
13) J.S, Wu, K. Friedrich and M.Grosso, "composites", Vol.20, No.3, May (1989), pp (223-233).

14) AC. Moloney, H.H. Kausch, T. Kaiser, H.R. Beer, "Review, Parameters Determining the Strength and Toughness of Particulate Filled Epoxide resns", journal of Materials Science, Vol.22, P(381-393), (1987).

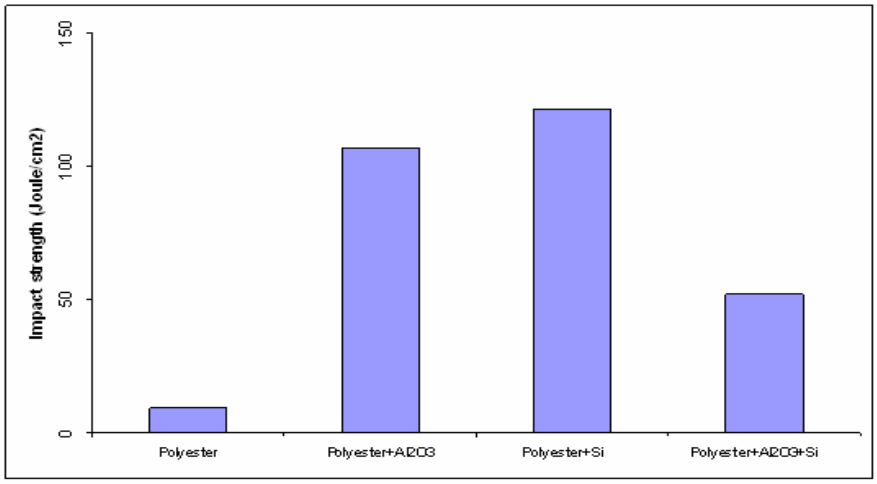
15) M.O.W.Richardson "Polymer Engineering Composites", Applied Science Pub.LTD, London, (1977).



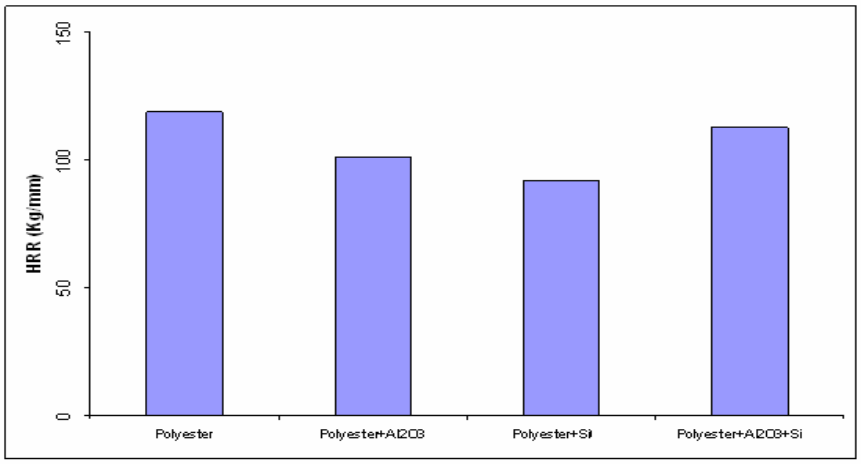
الشكل (1): العلاقة بين الكتلة والانحراف لجميع النماذج



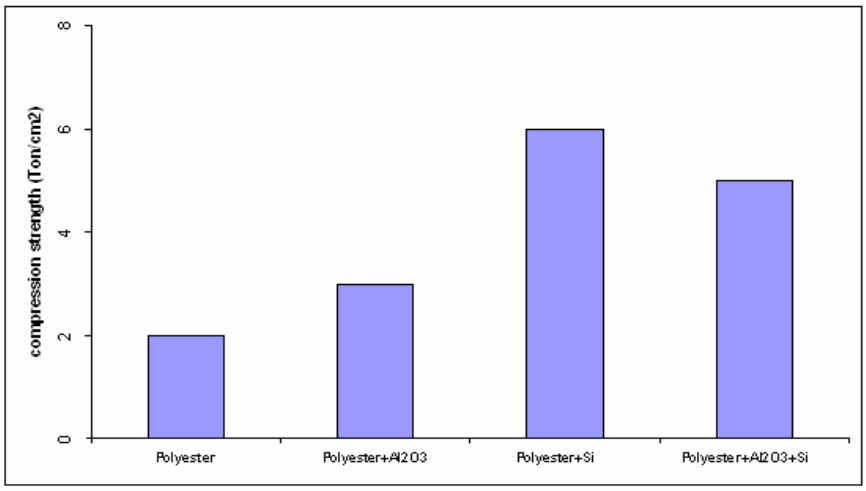
الشكل (2): قيم معامل يونك لجميع النماذج المحضرة



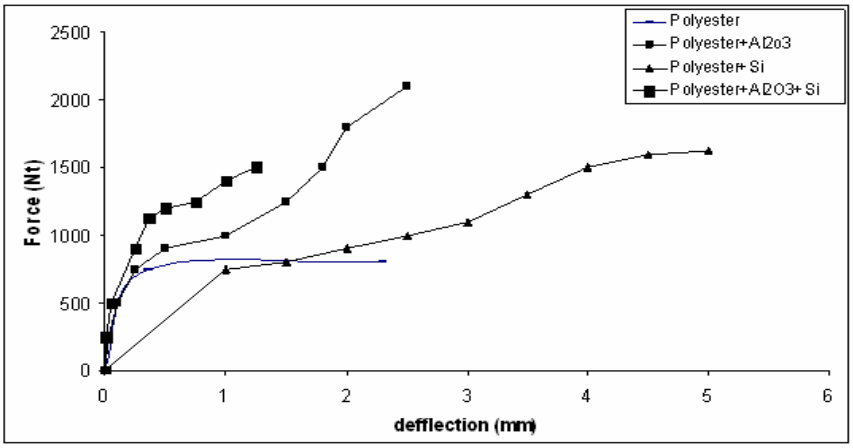
الشكل (3): قيم مقاومة الصدمة لجميع النماذج



الشكل (4): قيم الصلادة لجميع النماذج



الشكل (5): قيم مقاومة الانضغاط لجميع النماذج



الشكل (6): العلاقة بين القوة والانحراف لجميع النماذج في اختبار الشد

جدول (1): يوضح بعض قيم الخواص الميكانيكية لمتراكبات البولي استر غير المشبع المدعم بمواد التقوية المختلفة

Test	*Polyester*	*Polyester +Al2O3*	*Polyester +Si*	*Polyester +Si+Al2O3*
Modulus Young's (N/m^2)	3×10^9	4×10^9	1.7×10^9	3.7×10^9
Impact strength ($Joul/cm^2$)	9.21	107.7	121.56	52.185
HRR (Kg/mm)	119.3	101.6	92.3	113.6
Compression (Ton/cm^2)	2	3	6	5