تأثير إضافة دقائق الألومينا على الخواص الميكانيكية للمادة المركبة ذات الأساس من البولي أستر غير المشبع المقواة بألياف الزجاج غير المستمرة

المهندسة أسيل محمود عبد الله
مدرس
الجامعة التكنولوجية - هندسة المواد

المهندس أحمد مظفر هاشم
مدرس مساعد
جامعة القادسية – كلية الهندسة

المهندس عمار جبار بدر
مدرس مساعد
جامعة القادسية – كلية الهندسة

الخلاصة:

تم تصنيع مادة مركبة ذات أساس بوليمري (بولي أستر) مقواة بألياف زجاجية مقطعة نوع (E-glass) ، ونماذج أخرى من المادة ذات الأساس البوليمري مقواة بألياف الزجاج ودقائق الألومينا معاً وبثلاث كسور وزنية مختلفة (3, 5, 7 % wt). وتم إجراء فحوصات ميكانيكية للعينات مثل فحص الصدمة والصلادة والانحناء ، ومن النتائج تبين أن الخواص الميكانيكية تتحسن مع زيادة الكسر الوزني. إن الطاقة الممتصة للكسر أعطت أفضل النتائج للعينات المقواة بألياف الزجاج ودقائق الألومينا مقارنة مع العينات المقواة بألياف الزجاج فقط وبنفس الكسور الوزنية.

الكلمات الايضاحية: ألياف الزجاج ، دقائق الألومينا ، البولي أستر غير المشبع ، اختبار الصدمة ، اختبار الصلادة.

EFFECT OF ALUMINA PARTICLES ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF DISCONTINUOUS GLASS FIBER REINFORCED UNSATURATED POLYESTER COMPOSITES

Aseel Mahmood Abdullah
University of Technology, Department of Engineering Materials

Ahmed Mudhaffer Hashim
University of Qadissiya, Collage of Engineering, Department of Mechanical Engineering

Amar Jabar Bader
University of Qadissiya, Collage of Engineering Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

The polyester matrix composites reinforced with short glass fiber and reinforced with glass fiber and Al_2O_3 particles with different weight fractions (3, 5, and 7 wt% Al_2O_3) were prepared and then the mechanical testing (bending, impact, and hardness) were measured. The results showed the mechanical properties improve with increasing weight fraction. The impact energy of hybrid

composite is better than compared with the composite reinforced with glass fiber alone at same weight fractions.

مقدمة

المادة المركبة ذات الأساس البوليمري (Polymer Matrix Composites, PMCs) مثل المادة البوليمرية المقواة بألياف الزجاج (Glass Fiber Reinforced Polymer Composites, GFRP) تستخدم بشكل واسع في التطبيقات الهندسية المتنوعة ، ويعود سبب ذلك إلى المميزات التالية: أن المادة المركبة ذات الأساس البوليمري تعتبر سهلة التصنيع ولاتحتاج إلى أدوات ذات كلفة عالية ، ولذلك تكون كلفتها منخفضة. وتكون كثافتها واطئة فهي تمتلك نسبة متانة إلى الوزن عالية (Strength to weight ratio) مما يجعل استخدامها واسعا في التطبيقات الفضائية [Urmimala Maitria, etcl, 2009]. ونظرا للاستخدامات الواسعة للمادة المركبة ذات الأساس البوليمري ، فانها تحتاج إلى إضافة مواد. هذه المواد المضافة أما أن تكون حشوات Filler أو مواد تقوية Reinforcement بالإعتماد على تأثير المادة المضافة على الخواص الميكانيكية للمنتج النهائي. الحشوات تضاف بصورة رئيسية لتقليل الكلفة للمنتج النهائي ، بينما التقوية تضاف لكي تحسن الخواص الميكانيكية [Clarles A. Harper, etcl, 2006]. ومن أمثلة مواد التقوية المضافة هي كاربونات الكالسيوم $CaCO_3$ ، الألومينا Al_2O_3 ، كاربيد السليكون SiC التي تعمل على تحسين خواصها الميكانيكية كالصلادة والبلى والزحف وكذلك تحسين الخواص الحرارية [Donald R. Askeland, etcl, 2003]. إن المادة المركبة ذات الأساس البوليمري المقواة بالمواد المذكورة أعلاه تستخدم في تطبيقات عديدة مثل صناعة السيارات والأدوات الكهربائية والألكترونية [Suryasarathi Bose, etcl, 2004]. قام الباحث Qi Zhang وزملاءه في عام 2004 [Qi Zhang, etcl, 2004] بدراسة الخواص الميكانيكية لمادة مركبة ذات أساس بوليمري مقواة بالمساحيق. حيث استخدم الباحث وزملاءه مساحيق مختلفة هي هيدروكسيد المغنسيوم وهيدروكسيد الألمنيوم وبأحجام حبيبية مختلفة لتقوية المطاط ، ووجدوا أن الخواص الميكانيكية (مقاومة الشد والاستطالة) تتحسن عند تقليل الحجم الحبيبي. في عام 2006 قام الباحث Edcleide M. Araújo وزملاءه [Edcleide M. Araújo, etcl, 2006] بدراسة الخواص الميكانيكية لمادة مركبة ذات أساس من البولي أستر غير المشبع المقواة بألياف الزجاج وبنسب تقوية (20, 30, 40, 50, 60 wt %) ومقارنتها بتلك المقواة بألياف الزجاج التالفة (Fiber glass wastes) وبنفس نسب التقوية. وقد توصل الباحثون أنه بالامكان تقوية البولي أستر بالياف الزجاج التالفة ، خاصة بعد أعطت للمادة البوليمرية مقاومة صدمة عالية. وفي العام 2008 قام الباحث Osman Asi [Osman Asi, 2008] بدراسة تأثير إضافة دقائق الألومينا بنسبة 10 % wt على الخواص الميكانيكية للمادة المركبة ذات الأساس من الايبوكسي المقواة بألياف الزجاج. وقد بين الباحث أن مقاومة الانحناء ومعامل الانحناء تزدادان بنسبة 33% و 78 % على التوالي عند إضافة دقائق الألومينا مقارنة بالمادة المركبة غير المقواة بدقائق

الألومينا. أما في عام 2009 ، قام الباحث Urmimala Maitra وزملاءه [Urmimala Maitria, etcl, 2009] بدراسة الخواص الميكانيكية لمادة مركبة ذات أساس بوليمري مقواة بمسحوق الماس Diamond powder ، حيث استخدموا البولي فينيل الكحول Polyvinyl alcohol كمادة أســاس ومسحوق الماس كمادة تقوية بكسر وزني مقدره (0.6 % wt). وقد وجد الباحثون أن الصلادة ومعامل المرونة للمادة البوليمرية تتحسن بشكل ملحوظ عند التقوية بمسحوق الماس.

إن البحث الحالي يهدف إلى دراسة تأثير إضافة الألومينا على سلوك المادة المركبة ذات الأساس من البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الزجاج المقطع وبكسور وزنية مختلفة (3, 5, 7 % wt) ودراسة سلوكها في الاختبارات الميكانيكية مثل اختبار الانحناء واختبار الصدمة ، ومقارنة سلوكها بالمادة المركبة ذات الأساس من البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الزجاج بشكل منفرد وبنفس الكسور الوزنية المذكورة أعلاه.

الجزء العملي

تم استخدام راتنج البولي أستر غير المشبع والمصنع من قبل شركة (SIR) السعودية كمادة أساس ، والذي يكون على شكل سائل لزج شفاف عند درجة حرارة الغرفـــــة وهو أحد أنـــــــــــــواع البوليمرات المتصلدة بالحرارة (Thermosetting polymers) ، يتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة وذلك بإضافة المصلد (Hardener) إليه والمصنع من قبل نفس الشركة المذكورة أعلاه. والمصلد عبارة عن بيروكسيد مثيل أثيل كيتون (Methyl Ethyl Keton Peroxide, MEKP) والذي يكون على شكل سائل شفاف يضاف إلى راتنج البولي أستر غير المشبع بنسبة (2 grams) لكل (10 grams) من الراتنج عند درجة حرارة الغرفة. و**الجدول رقم (1)** يبين خصائص مادة البولي أستر غير المشبعة المستخدمة في البحث حسب مواصفات الشركة المنتجة.

تم استخدام نوعين من مواد التقوية هي:

الألياف

استخدمت في هذا البحث ألياف الزجاج من نوع (E-glass) على شكل ألياف غير مستمرة (مقطعة) وبطول (10 mm). و**الجدول رقم (2)** يبين الخصائص الميكانيكية والفزياوية لألياف الزجاج.

الدقائق

تم استخدام الألومينا بشكل مسحوق ناعم ذو حجم حبيبي (50-53µm). وقد تم تحديد الحجم الحبيبي باستخدام المناخل الكهربائية.

وتم تصنيع قالب ذو قاعدة وجوانب من مادة الخشب. وتكون الجوانب متحركة وترتبط بالقاعدة بواسطة المثبتات. وأبعاد القالب المستخدم (300×300×5 mm) و**الشكل رقم (1)** يوضح القالب الخشبي الذي تم تصنيعه والمستخدم في تحضير عينات البحث.

تم استخدام الطريقة اليدوية (Hand-lay-up moulding) في تصنيع عينات البحث. حيث تم الحصول على عينات البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الزجاج المقطعة بثلاث كسور وزنية هي (3, 5, 7 % wt) ، وتم تصنيعها بمزج مادة البولي أستر غير المشبع مع المصلد بنسبة (2 grams) لكل (100 grams) من الراتنج. وتتم عملية المزج بإضافة ألياف الزجاج المقطعة ويستمر المزج لمدة (8-10) دقائق إلى أن يتجانس الخليط. بعدها يصب المزج في القالب الخشبي على شكل سيل من إحدى جوانب القالب ، بحيث يسيل بصورة منتظمة ومستمرة. أما عينات البولي أستر المقواة بألياف الزجاج المقطعة ودقائق الألومينا وبنفس الكسور الوزنية المذكورة أعلاه ، فقد تم تصنيعها بمزج دقائق الألومينا مع الراتنج والمصلد مع الألياف في نفس الوقت. وثم الخلط إلى أن يتجانس المزيج لمدة (10) دقائق ، ومن ثم يصب المزيج في القالب الخشبي.

الفحوصات

من الفحوصات التي أجريت على النماذج المحضرة هي كما يلي :

فحص الصدمة

تم استعمال جهاز شاربي لفحص الصدمة (Charpy Impact Test) حيث تم استخدام النماذج بأبعاد قياسية (80×10×4 mm) وبدون حز على وفق النظام العالمي (ISO-179).

فحص الإنحناء

تم تحضير عينات الانحناء بأبعاد قياسية (191×13×4.8 mm) وبنسبة طول إلى سمك (Span to Depth Ratio) مقدارها 1:32 على وفق المواصفة الأمريكية (ASTM D-790).

فحص الصلادة

لغرض قياس الصلادة تم اتباع طريقة (Shore D) والعينة المستعملة بهذه الطريقة دائرية المقطع بقطر (40 mm) وسمك (4 mm) حسب المواصفة (DIN-53505).

النتائج والمناقشة

نتائج ومناقشة اختباري الصدمة والصلادة

الشكلين رقم (2,3) يوضحان تأثير تغيير الكسر الوزني على الطاقة الممتصة اللازمة للكسر للمادة البوليمرية المقواة بألياف الزجاج ودقائق الألومينا ، ويلاحظ من المخطط أن الطاقة الممتصة اللازمة للكسر تزداد بزيادة الكسر الوزني بعلاقة لاخطية وذلك نتيجة عمل مواد التقوية كحاجز أمام الشق النامي خلال المادة المتراكبة وخصوصاً دقائق الألومينا تعمل على اعاقة نمو الشق وهذا سوف يؤدي إلى تغير الشق واتجاهه بتحوله إلى مجموعة شقوق ثانوية. إن هذا التغيير في شكل الشق واتجاهه أدت إلى زيادة المساحة السطحية للكسر والطاقة المصروفة وهذه كلها عوامل أدت إلى زيادة مقاومة المادة وهذه الحالة تحصل بشكل أفضل عندما يكون هنالك ربط بين مادة الأساس والدقائق كما هو الحال في دقائق الألومينا والمادة الأساس. أما في حالة الربط الأقل قوة فأن التقوية تتم بآلية مختلفة تعتمد على ملاقاة الشق للسطوح الضعيفة وضياع وتحرر جزء من طاقته عندها (سعد ميخائيل حنا, ٢٠٠٧). بالامكان جعل الراتنجات أكثر مقاومة ضد نمو الشق بإضـــــافات جسيمات من مواد معينة (د. قحطان الخزرجي, ١٩٩٤).

يوضح الشكلين (4,5) تأثير الكسر الوزني للمواد المضافة في الصلادة حيث نلاحظ أن الصلادة تزداد بإضافة ألياف الزجاج منفردة بشكل طفيف وهذا يتفق مع رأي الباحث Edcleide M. Araújo وزملاءه [Edcleide M. Araújo, etcl, 2006] أن ألياف الزجاج تؤثر على صلادة المادة المركبة ذات الأساس البوليمري المقواة بألياف الزجاج. كما نلاحظ أن المادة المركبة ذات الأساس البوليمري المقواة بألياف الزجاج مع دقائق الألومينا تزداد الصلادة مع زيادة الكسر الوزني ، ومن مفهوم الصلادة يمكن عدها مقياساً للتشوه اللدن الذي يمكن أن تعاني فيه المادة تحت تأثير خارجي وبذلك فان اضافة الدقائق ترفع من صلادة المادة نتيجة لزيادة مقاومتها للتشوه اللدن. إن تقوية البوليمرات ببعض الجسيمات يؤدي إلى زيادة صلادة السطح والمقاومة ضد الاختراق (د. قحطان الخزرجي, ١٩٩٤). إن لنوع الدقائق المضافة إلى البولي أستر تأثير كبير على صلادة المادة المتراكبة الناتجة واعتماداً على صلادة الدقائق المضافة. ولما كانت صلادة دقائق الألومينا عالية نلاحظ أن العينات المقواة بألياف الزجاج ودقائق الالومينا كانت 33.5 ، 33.8 ، 34.3 للكسور الوزنية (3, 5, 7 % wt) وهذا يعود إلى أن الألومينا هي مـــــادة سيراميكية تمتاز بالصـــــــلادة العـــــــــالية [R. A. Higgen, 2006].

نتائج ومناقشة اختبار الانحناء

يمثل الشكلان (6.7) تأثير الحمل المسلط على معدل الانحراف ولكسور وزنية مختلفة وبعلاقات طردية. ومن خلال الشكلين يلاحظ أنه مع زيادة الكسر الوزني للمواد المضافة فانه يؤدي إلى تقليل الانحراف عند تعرض الليف إلى حمل معين. فبالنسبة للعينات المقواة بألياف الزجاج فقط وبكسور وزنية 3% ، 5% ، 7% وعند حمل 1200 غرام فان العينات أعطت انحرافاً مقداره 222N عند نفس الحمل أعطت العينات المقواة بألياف الزجاج مع دقائق الألومينا أي المتراكبات الهجينة وبنفس الكسور الوزني ة أعطت انحرافاً مقداره 77 N. بينما في العينات ذات الكسر الوزني 7% سواء المقواة بألياف الزجاج فقط أو بألياف الزجاج مع دقائق اللومينا نلاحظ زيادة الانحراف عند نفس الحمل فمثلاً التقوية بألياف الزجاج مقدار الانحراف 222N وبالنسبة للتقوية بألياف الزجاج ودقائق الألومينا الانحراف 146 N. من هذه النتائج تبين لنا أن المادة المتراكبة المقواة بألياف الزجاج ودقائق الألومينا كان فيها قوة الترابط بين التقوية والمادة الأساس أعلى من قوة الترابط بين ألياف الزجاج والمادة الأساس. وهذا يعود إلى أن اختبار الانحناء هو اجهاد بطيء يسمح بتفاعل الشقوق مع الدقائق كما يختلف عن اختبار الشد بطبيعة القوة المؤثرة في العينة فان القوى المؤثرة في اختبار الانحناء هي قوى شد وضغط معاً. كما تتأثر مقاومة الانحناء بشكل كبير بقوة الربط بين مادة الأساس ومادة التقوية [L. Holiday, 1966].

الاستنتاجات

١- إضافة ألياف الزجاج بشكل منفرد وألياف الزجاج مع دقائق الألومينا إلى المادة البوليمرية أدى إلى تحسين الخواص الميكانيكية كالصدمة والصلادة والانحناء.

٢- الصلادة زادت مع زيادة الكسر الوزني للمادة البوليمرية المقواة بألياف الزجاج ودقائق الألومينا للكسور الوزنية (3, 5, 7 % wt) وأعطت نتائج أفضل من ألياف الزجاج بشكل منفرد ولنفس الكسور الوزنية.

٣- الطاقة الممتصة للكسر أعطت أفضل نتائج للعينات المقواة بألياف الزجاج ودقائق الألومينا بكسور وزنية (3, 5, 7 % wt) مقارنةً مع العينات المقواة بألياف الزجاج فقط ولنفس الكسور الوزنية.

المصادر

4- Clarles A. Harper, "Hand Book of Plastic Thecnologies", Mc Graw Hilll Companies, **2006.**

5- Donald R. Askeland and Pradeep P. Phule, "The Science and Enginerring of Materials", 4th Edition, Plenum Press, New York, **2003.**

6- Edcleide M. Araújo, Kasselyne D. Araújo, Osanildo D. Pereira, Pollyana C. Ribeiro and Tomás J. A. de Melo, "Fiberglass Wastes/Polyester Resin Composites: Mechanical Properties and Water Sorption", Polimeros Ciencia e Technologia, vol. 16, No. 4, pp 332-335, **2006.**

7- L. Holiday, "Composite Material", Elsevier Publish, **1966.**

8- Osman Asi, **"**Mechanical Properties of Glass-Fiber Reinforced Epoxy Composites Filled with Al_2O_3 Particles ", Journal of Reinforced Plastics and Composites, doi:10.1177/0731684408093975, **2008.**

9- Qi Zhang, Ming Tian, Youping Wu, Guilin and Liqun Zhang, "Effect of Particle Size on The Properties of $Mo(OH)_2$-Filled Rubber Composites", Journal of Applied Science, vol. 94, pp 23341-2346, **2004.**

10- R. A. Higgen, "Materials for Engineers and Technicians", 4th Edition, Newnes Publications, **2006.**

11- Suryasarathi Bose and P. A. Mahanwar, "Effect of Particle Size of Filler on Properties of Nylon-6", Journal of Mineral and Materials Characrization and Engineering, vol. 3, No. 1, pp 23-31, **2004.**

12- Urmimala Maitria, K. Eswas Prasad, U. Ramamurty and C. N. R. Rao, "Mechanical Properties of Nano Diamond-Reinforced Polymer Matrix Composites", Solid State Communication Journal, Elsevier Ltd., **2009**.

١٣- سعد ميخائيل حنا، "دراسة الخصائص الميكانيكية والتوصيلية الحرارية لمادة متراكبة ذات أساس بوليمري مقواة بدقائق الألمنيوم واوكسيد الألمنيوم"، أطروحة ماجستير ، قسم هندسة المواد-الجامعة التكنولوجية ، **٢٠٠٧**.

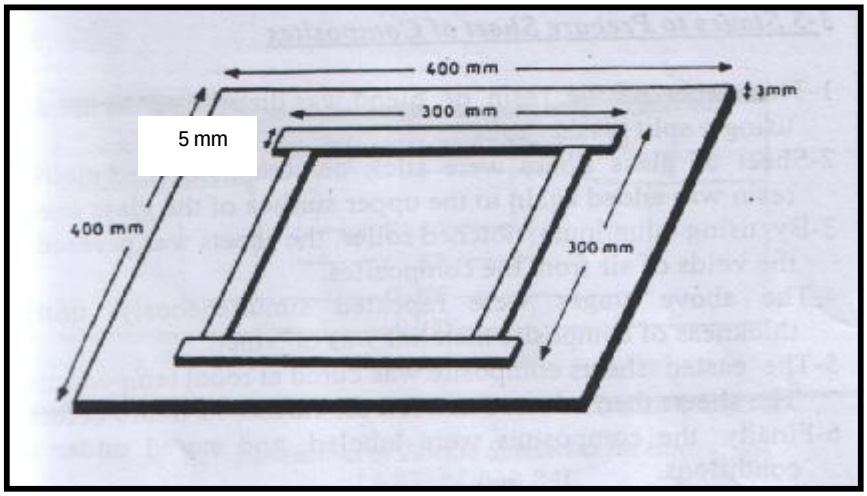
١٤- أ. د. قحطان خلف الخزرجي، "مبادئ هندسة المواد اللامعدنية"، جامعة بابل-كلية الهندسة ، **١٩٩٤**.

الجدول رقم (1) يبين الخصائص الميكانيكية والفيزياوية والحرارية لمادة البولي أستر غير المشبعة المستخدمة في البحث حسب مواصفات الشركة المنتجة.

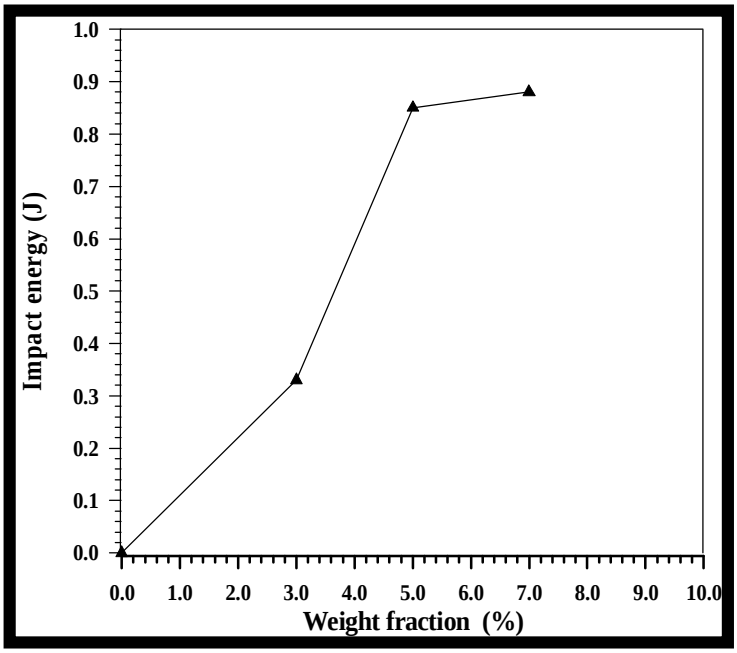
Density gm/cm^3	Thermal conductivity w/m	Specific Heat J/Kg. k	Coefficient of thermal expansion 10^{-6}	Tensile strength MPa	Percent Elongation EL %
1.2	0.17	710-920	100-180	41.4-89.7	<2.6

الجدول رقم (2) يبين الخصائص الميكانيكية والفيزياوية لألياف الزجاج نوع (E-glass).

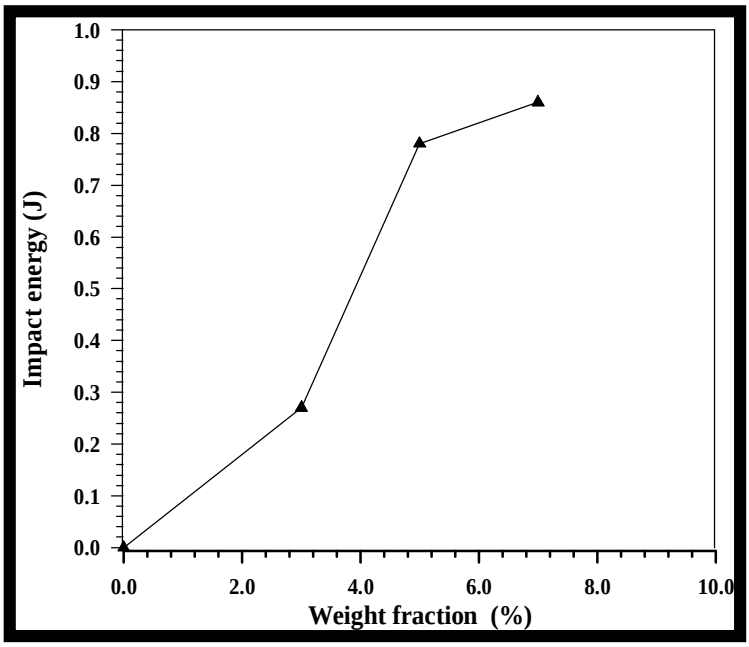
Tensile strength MPa	Tensile modulus GPa	Density gm/cm^3
2400	69	2.5



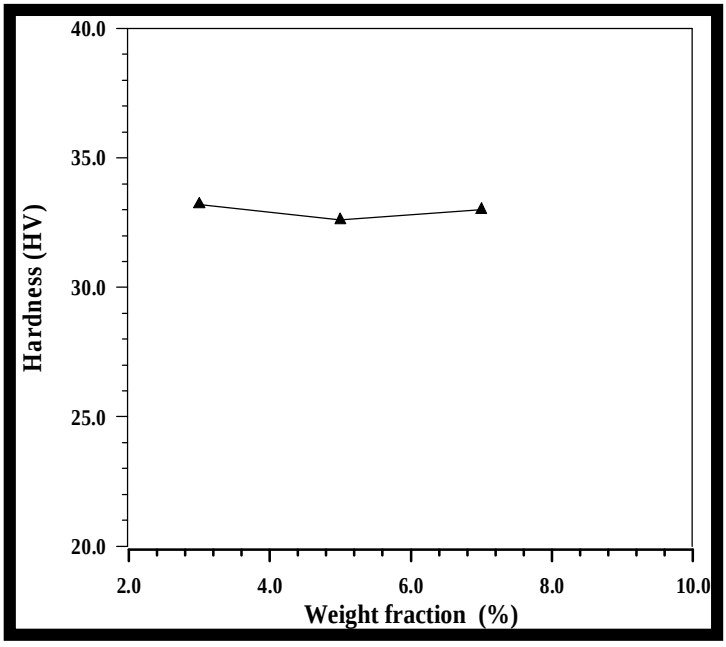
الشكل رقم (1)يوضح القالب الخشبي الذي تم تصنيعه والمستخدم في تحضير عينات البحث.



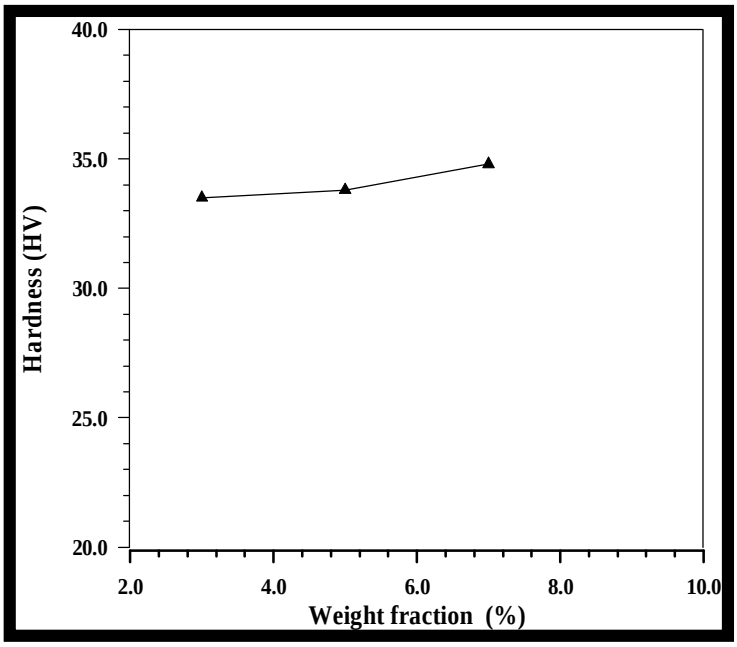
الشكل رقم (2) يبين يوضح العلاقة بين مقاومة الصدمة والكسر الوزني لألياف الزجاج للمادة المركبة ذات الأساس من البولي أستر غير المشبع المقواة بألياف الزجاج.



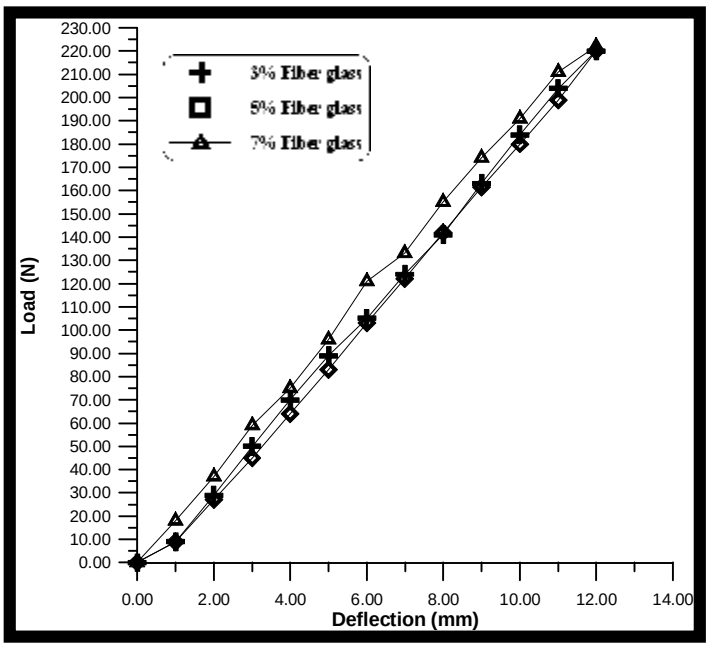
الشكل رقم (3) يبين يوضح العلاقة بين مقاومة الصدمة والكسر الوزني لدقائق الألومينا للمادة المركبة ذات الأساس من البولي أستر غير المشبع المقواة بألياف الزجاج.



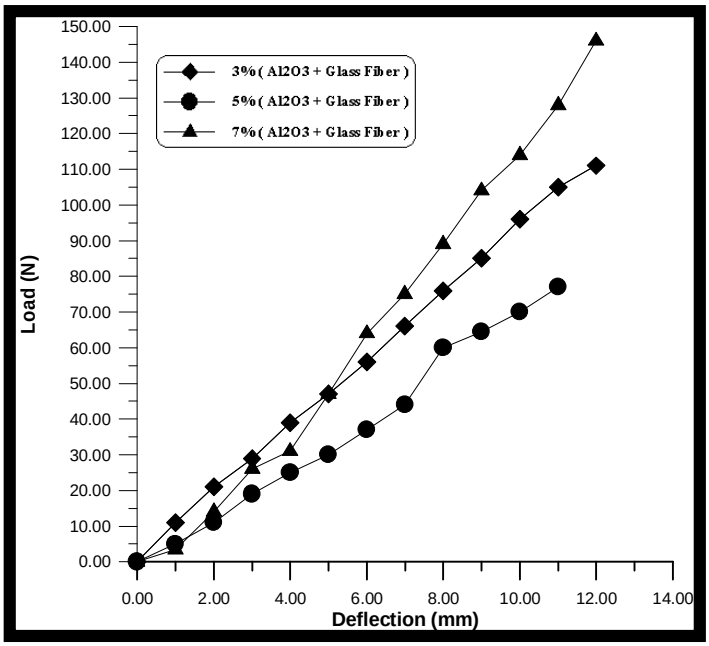
الشكل رقم (4) يبين يوضح العلاقة بين الصلادة والكسر الوزني لألياف الزجاج للمادة المركبة ذات الأساس من البولي أستر غير المشبع المقواة بألياف الزجاج.



الشكل رقم (5) يبين يوضح العلاقة بين الصلادة والكسر الوزني لدقائق الألومينا للمادة المركبة ذات الأساس من البولي أستر غير المشبع المقواة بألياف الزجاج.



الشكل رقم (6) يبين يوضح العلاقة بين الحمل والانحراف للمادة المركبة ذات الأساس من البولي أستر غير المشبع المقواة بألياف الزجاج.



لشكل رقم (7) يبين يوضح العلاقة بين الحمل والانحراف للمادة المركبة ذات الأساس من البولي أستر غير المشبع المقواة بألياف الزجاج ودقائق الألومينا