إختلاف نسبة التدعيم بالألياف وتأثيرها على الخواص الميكانيكية للراتنجات المتصلبة بالحرارة

د.عباس عليوي الجبوري علي إبراهيم الموسوي سمارة عدي القريشي
جامعة القادسية المعهد التقني – بابل جامعة بابل

الخلاصة

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير تغيير نسبة التدعيم بالألياف على الخواص الميكانيكية للمادة المركبة المكونة من راتنج الفنيل أستر المقوى بألياف الزجاج ثنائية الإتجاه(0°−45°) ذات كثافة سطحية ($2.6g/cm^3$)، وقد شملت هذه الخواص كل من مقاومة الصدمة ومقاومة الشد ومقاومة الإنضغاط ومقاومة الإنثناء حيث تم في البداية إستخراج الخواص الميكانيكية لراتنج الفنيل أستر قبل تدعيمه بالألياف بعدها تم تدعيم الراتنج بنسب وزنية مختلفة من ألياف الزجاج (20%,40%,60%) و دراسة تأثير ذلك على الخواص المذكورة .

الكلمات الدالة : المادة المركبة ، الخواص الميكانيكية ، راتنج الفنيل أستر ، ألياف الزجاج

Difference Fibers Reinforcement percentage and its Effect on Mechanical Properties of Thermosetting Resins

Dr. Abbas A. Al-Jeebory Ali I. Al-Mosawi Samara A. Al-Qurashi
Al-Qadissiya University Technical Institute-Babylon Babylon University

Abstract

The objective of this research is to study the effect of changing the reinforcement percentage by fibers on mechanical properties for composite material consist of vinyl ester resin reinforced by biaxial glass fibers(0°−45°)with ($2.6g/cm^3$) density which includes impact strength , tensile strength , compression strength , and flexural strength where the mechanical properties for vinyl ester resin were extracted before reinforced by fibers, then the resin was reinforced by different weight percentage from glass fibers(20%,40%,60%) and studied its effect on the above mechanical properties as illustrated in the diagrams .

Keywords:-Composite Material , Mechanical Properties, vinyl ester Resin , glass Fibers .

المقدمة (Introduction).

تتكون المادة المركبة من دمج مادتين أو أكثر وتشمل الخلائط (*Blends*) والبلاستك (*Reinforced Plastic*) مختلفتي الخواص الميكانيكية والفيزيائية . إن عملية الدمج هذه تؤدي إلى الحصول على مادة جديدة ذات خواص هندسية وفيزيائية تختلف عن خواص المواد الداخلة في تركيبها . يوجد في الطبيعة الكثير من الأمثلة على المواد المركبة ومنها ألياف السليلوز مع مادة الخشب[علي ،1999]. أما في الصناعة فإن تقوية الراتنجات بالألياف الصناعية هي الأكثر إنتشاراً. و لتصنيع مادة مركبة يجب توفر مادتين هما :-

1- المادة الأساس (*Matrix Material*)

تكون مواد الأساس أما مواد معدنية أو قد تكون مواد سيراميكية أو تكون المادة الأساس مواد بوليميرية وهي الأكثر إستعمالاً وإنتشاراً لِما تتميز به من خواص ميكانيكية وحرارية جيدة ، ومن الأمثلة على المواد البوليمرية راتنج الفينول والإيبوكسي والفنيل أستر [د.عبد الفتاح ،2000]. يعتبر راتنج الفنيل أستر من الراتنجات الحديثة نسبياً التي أُضيفت إلى مجموعة الراتنجات المصلدة بالحرارة.

2- مادة التدعيم (*Reinforcing Material*)

يجب توفر ميزتين أساسيتين في هكذا مواد وهي المقاومة العالية والمطيلية المنخفضة حتى تستطيع تقوية المواد الأساس . هناك عدة طرق للتدعيم منها التدعيم بالدقائق ، كذلك يتم التدعيم بالتشتت، أما أكثر أساليب التدعيم شيوعاً فهو التدعيم بالألياف نظراً لما يتميز به من قوة كبيرة مقارنة بالمواد الراتنجية ، وتكون الألياف بأنواع وأشكال مختلفة فمنها ما يكون بشكل مستمر أو مقَطعْ أو بشكل ظفائر محاكة . [Mallick,2007]

التدعيم بالألياف (Fibers Reinforcing).

إن الهدف الرئيسي من التدعيم بالألياف هو لتحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية للراتنجات حيث تزداد مقاومة الشد والصدمة والصلادة بشكل كبير مما يسمح بإستخدام هذه المواد المدعمة في مجالات صناعية عنيفة ، ويطلق على هذا النوع من المواد بالمتقدمة (*Advanced Composites*) .إن الألياف في هذا النوع من المواد المركبة هي المسؤول الرئيسي عن تحمل الأحمال الخارجية ، ومن أكثر أنواع الألياف شيوعاً في مجال المواد المركبة المتقدمة هي ألياف الزجاج والكاربون وألياف كيفلار[US Industry, 2007].

خواص المواد المركبة (Composite Materials Properties) .

تعتمد الإستخدامات العامة والهندسية للمواد المركبة إلى حد بعيد على خواصها الميكانيكية والفيزيائية مثل مقاومة الشد والمرونة وقابلية المادة للإستطالة ومقاومتها للحرارة والظروف البيئية مثل الرطوبة وأشعة الشمس وغيرها من الخواص التطبيقية الأُخرى . إن جميع هذه الخواص تعتمد كثيراً على التركيب الجزيئي

للراتنج وعلى وزنه الجزيئي وعلى القوى الجزيئية [أمل ،1995]. كما تعتمد هذه الخواص إلى حد كبير على مواد التقوية وعلى المواد المضافة مثل الحشوات والملدنات . ومن الخواص المناقشة في هذا البحث ما يأتي :

1- مقاومة الصدمة (*Impact Strength*) .

تُعبر مقاومة الصدمة عن قدرة المادة لمقاومة الكسر تحت تأثير حمل مفاجئ ، كما تعتبر مقياساً لمتانة المادة حيث المواد الأكثر متانة هي التي تبدي أعلى مقاومة للصدمة . ويمكن تحسين مقاومة الصدمة للراتنجات بإضافة بعض المحسنات مثل مطاط بيوتادين أو إضافة الملدنات أو بترتيب وتراصف السلاسل البوليمرية ولكن أكثر الطرق فاعلية في تحسين مقاومة الصدمة هي التقوية بالألياف[Michel,2007] .

2- مقاومة الشد (*Tensile Strength*) .

تعتبر مقاومة الشد مقياساً لقابلية المادة على مقاومة القوى الساكنة التي تحاول سحب المادة وكسرها . تتكون المواد المركبة الليفية من ألياف قوية هشة مغمورة في المادة الأساس التي تتصف بكونها أكثر مطيلية . تبدأ المادة المركبة بالإستطالة بشكل خطي في البداية إستجابة للجهد المسلط ومع إستمرار التحميل يحصل إنحراف نتيجة لوصول المادة الأساس إلى نقطة الخضوع في حين تستمر الألياف بالإستطالة و المقاومة حتى تنهار مقاومتها[US Industry, 2007]. وعندما تتهشم المادة الأساس تفشل المادة المركبة كلياً [efunda,2001].

3- مقاومة الإنضغاط (*Compressive Strength*) .

تبين هذه المقاومة مدى تحمل المادة عند تعرضها إلى حمل إنضغاط ساكن قبل أن تتكسر ، وتقاس عادة بوحدات (*MPa*) والقيم العالية تُشير إلى كبر قوى التماسك بين جزيئات المادة .

4- مقاومة الإنثناء (*Flexural Strength*) .

وتعتبر هذه الخاصية مقياساً لمقاومة الإنحناء ، ويمكن تعرفها على إنها أقصى حمل ساكن يمكن تسليطه على نموذج الإختبار قبل أن يخضع أو ينكسر وتقاس بوحدات (*MPa*) . عند تسليط حمل إنثناء على مادة مركبة طبقية فإن الجهود المناظرة تتناسب طردياً مع خواص المرونة للطبقات ومع ترتيبها داخل المادة المركبة الطبقية وإن الإختلافات في خواص الطبقات تؤدي إلى الشروع بالتشقق ضمن الطبقة أكثر منه في السطح الخارجي كما يحصل مع المواد الموحدة الخواص[علي،1999].

الجزء العملي (Experimental Work) .

يتضمن الجزء العملي تحضير المواد الأولية وكيفية تحضيرها إضافة إلى الإختبارات الميكانيكية التي تم إجراءها على المادة المركبة .

أولاً- المواد المستخدمة في البحث .

تم في هذا البحث إستخدام المواد التالية والتي تم تصنيع النماذج منها وهي :

1- راتنج الفنيل أستر (Vinyl Ester Resin) .

تم إستخدام راتنج الفنيل أستر نوع (*Deraken* 510-*A*40) ذو كثافة ($1.21 g/cm^3$) . يتم إضافة مادتين إلى الراتنج هما (MEKPO) كمادة محفزة على التبلمر ومادة (*Cobalt Octoate*) كمادة معجلة .

2- ألياف الزجاج (Glass Fibers) .

تم إستخدام ألياف الزجاج بشكل ظفائر محاكة ثنائيــة الإتجــاه (°45-°0) نوع E- (E-glass) ذات كثافــة سطحية ($2.6 g/cm^3$) والموضح تركيبها في **الجدول رقم (1)** .

ثانياُ- تحضير النماذج (Test Specimens Preparation) .

تم في هذا البحث تصنيع أربعة أنواع من النماذج خاصة بالإختبارات التي تم إجراءها وهي :

1- نماذج إختبار الصدمة (Impact Specimens) .

تم تصنيع نماذج إختبار الصدمة حسب المواصفات القياسية (ASTM-E23) والملائمة للفحص في جهــاز الصدمة نوع شاربي (*Charpy Impact*) . عمق الحز في النمــاذج (0.5 *mm*) ونــصف قطــر قاعــدة الحز(0.25 *mm*) وبزاوية حز مقدارها (45°) .

2- نماذج إختبار مقاومة الشد (Tensile Specimens) .

تم إعتماد المواصفة القياسية (ISO-R-527) في تصنيع نماذج إختبار مقاومة الشد.

3- نماذج إختبار مقاومة الإنضغاط (Compression Specimens) .

تم تصنيع نماذج إختبار مقاومة الإنضغاط حسب المواصفة(ASTM-D618) وهي بشكل منشور رباعي .

4- نماذج إختبار مقاومة الإنثناء (Flexural Strength Specimens) .

أُعتمدت المواصفة القياسية (ASTM-D790) في تصنيع نماذج الإختبار والتي كانت علــى شــكل نمــاذج مستطيلة بأبعاد (10*mm*×135*mm*) .

تم إضافة نسب مختلفة من ألياف الزجاج ثنائية الإتجاه (20%,40%,60%) كنسب وزنية لتصنيع عينــات الإختبارات أعلاه وبواقع ثلاث عينات لكل نسبة وزنية وأخذ معدل القراءات لتقليص الإنحراف الحاصل في النتائج إن وجد .

ثالثاً – الإختبارات الميكانيكية (Mechanical Tests) .

تم في هذا البحث إستخدام أربعة إختبارات ميكانيكية للتعرُف على خواص المادة المركبة وقد تم إجراء هذه الإختبارات في معامل المعهد التقني – بابل والتي يمكن إدراجها كما يلي :

1- إختبار الصدمة (Impact Test) .

أُستخدم جهاز فحص مقاومة الصدمة نوع شاربي (*Charpy Impact Instrument*) للتعرُف على مدى مقاومة المادة المركبة لحِمل الصدم . الكاربون .

2- إختبار مقاومة الشد (Tensile Test) .

أُستخدم هذا الإختبار لمعرفة خواص المادة المركبة تحت تأثير حِمل شد محوري بإتجاه واحد ، حيث تم إستخدام جهاز الإختبارات العام (*Universal Instrument*) في قياس هذه الخاصية و حِمل (20 KN) .

3- إختبار مقاومة الإنضغاط ومقاومة الإنثناء (Compression &Flexural Strength Test).

يمكن قياس مقاومة الإنضغاط ومقاومة الإنثناء بطريقة الإختبار ثلاثي النقاط ويتم ذلك بإستخدام مكبس هيدروليكي متعدد الأغراض لقياس أقصى حمل مسلط على منتصف نموذج الإختبار .

النتائج والمناقشة (Results and Discussion).

تمتلك الخواص الميكانيكية للمادة المركبة أهمية كبيرة في مجال إستخدام هكذا مواد ، حيث يجب أن تكون قيم هذه الخواص عالية ومقبولة حتى تؤدي عملها بكفاءة . ومن خلال هذه الإختبارات التي أُجريت على راتنج الفنيل أستر المقوى بألياف الزجاج ثنائية الإتجاه حصلنا على النتائج الموضحة في المخططات البيانية والتي تُمثل قيم مقاومة الشد ومقاومة الصدمة ومقاومة الإنضغاط والإنثناء نسبة إلى نسبة التقوية بالألياف .

1- مقاومة الصدمة . **الشكل رقم (1)** يوضح قيم مقاومة الصدمة مع نسبة التدعيم بالألياف ، حيث تعتبر مقاومة الصدمة بشكل عام منخفضة للراتنجات نظراً لهشاشتها ولكن بعد تدعيمها بالألياف تزداد قيمة مقاومة الصدمة ويرجع السبب في ذلك إلى كون الألياف سوف تتحمل الجزء الأكبر من طاقة الصدم المسلطة على المادة المركبة مما يُحسن هذه المقاومة . وهكذا تزداد مقاومة الصدمة مع زيادة نسبة التدعيم بالألياف إلى(40%) و (60%) .

2- مقاومة الشد . تعتبر الراتنجات من المواد الهشة حيث مقاومتها للشد منخفضة جداً وهذا ما نراه في **الشكل رقم (2)** ، ولكن عند إضافة الألياف إلى هذه المواد تتحسن مقاومتها للشد بصورة كبيرة حيث إن الجزء الأعظم من الجهد المسلط تتحمله الألياف مما يرفع مقاومة الشد للمادة المركبة وذلك لأن الألياف تتميز بمطيليتها المنخفضة . وتزداد مقاومة الشد بزيادة نسبة الألياف المضافة حيث تشغِل الألياف حيز أكبر داخل الراتنج مما يسمح بتوزيع الحِمل المسلط عليها بشكل أفضل .

3- مقاومة الإنضغاط . إن تدعيم المواد الراتنجية بالألياف يؤدي إلى إرتفاع قيم مقاومة الإنـــضغاط للمـــادة المركبة الناتجة من هذا التدعيم وهذا واضح من خلال **الشكل رقم (3)** الذي يمثل إختبار مقاومة الإنـــضغاط لراتنج الفنيل أستر المقوى بألياف الزجاج ، حيث مقاومة الإنضغاط ترتفع بشكل حاد عند التـــسليح بألـيـــاف الزجاج نظراً لتوزيع الحِمل على الألياف وكذلك كفاءة الربط بين المادة الأساس وألياف التدعيم مما ويرفـــع قيم مقاومة الإنضغاط . وتزداد مقاومة المادة المركبة للإنضغاط مع زيادة نسبة الألياف المضافة لنفس السبب المذكور أعلاه .

4- مقاومة الإنثناء . تمتلك المواد البوليمرية مقاومة إنثناء منخفضة وهذا راجع إلى هشاشة هذه المواد وكما موضح في **الشكل رقم (4)** الذي يمثل إختبار مقاومة الإنثناء لراتنج الفنيل أستر المدعم بألياف الزجاج حيث تكون قيمة مقاومة الإنثناء منخفضة قبل التدعيم بالألياف ، ولكن هذه المقاومة تبدأ بالإرتفاع لهذا الراتنج بعد تدعيمه بألياف الزجاج ويعود السبب في ذلك إلى إرتفاع معامل مرونة هذه الألياف مما يؤدي إلى تحملها إلى الجزء الأكبر من الحمل المسلط على المادة المركبة مما يؤدي بدوره إلى زيادة مقاومة الإنثناء لهذه المـــادة المدعمة بالألياف . وتزداد هذه المقاومة مع زيادة نسبة التدعيم بالألياف .

الإستنتاجات (Conclusions) .

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها يمكن الخروج بالإستنتاجات التالية :

1- إنخفاض قيم الخواص الميكانيكية لراتنج الفنيل أستر كونه من المواد الهشة .
2- تحسُن قيم هذه الخواص الميكانيكية لراتنج الفنيل أستر بعد تدعيمه بألياف الزجـــاج ثنائيـــة الإتجـــاه لأن الحِمل الأكبر المسلط على المادة المركبة الناتجة سوف تتحمله الألياف . وتزداد قيم الخواص الميكانيكية مع زيادة نسبة الألياف المضافة .

المصادر (References) .

1- علي هوبي حليم " *تحسين خواص المواد اللدائنية المقساة* "، رسالة ماجستير، جامعة بابل ، 1999 .

2- د. عبد الفتاح محمود طاهر "*أساسيات علم وتقنية البلمرات* " دار المريخ للنشر ، الرياض – المملكة العربية السعودية ، 2000 .

3- P.K. Mallick , "*Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*" , 3rd Edition , CRC Press, 2007.

4- Freedonia "*Glass Fibers*", US Industry Forecasts to 2011 and 2016, 2007.

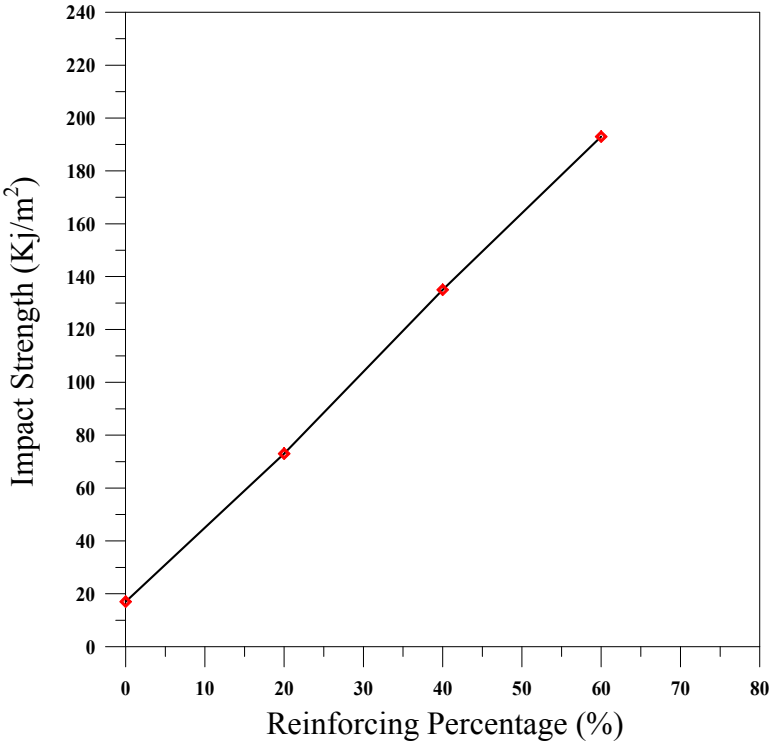
5- أمل علي رجب "*دراسة الخواص الميكانيكية لمواد مركبة و مواد مركبة هجينة* " ، رسالة ماجستير، هندسة المكائن والمعدات ، الجامعة التكنولوجية ، 1995 .

6- Michel Biron " *Thermoplastics and Thermoplastic Composites* " , First Edition , Elsevier , 2007 .

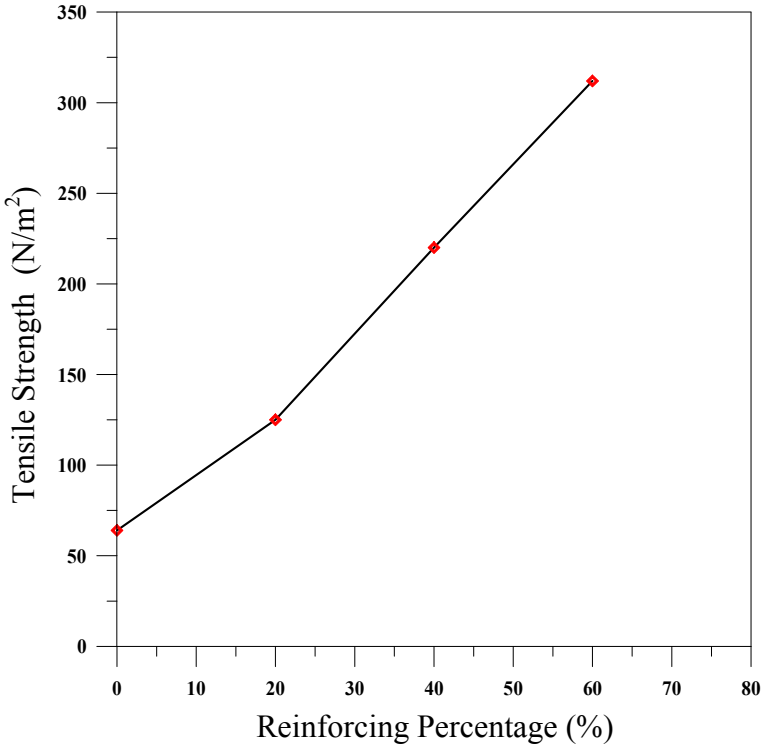
7-***e***funda Engineering Fundamentals "*Polymer Material Properties*" ,2001. (www.efunda.com).

الجدول رقم(1) : مكونات ألياف الزجاج ونسبها المئوية

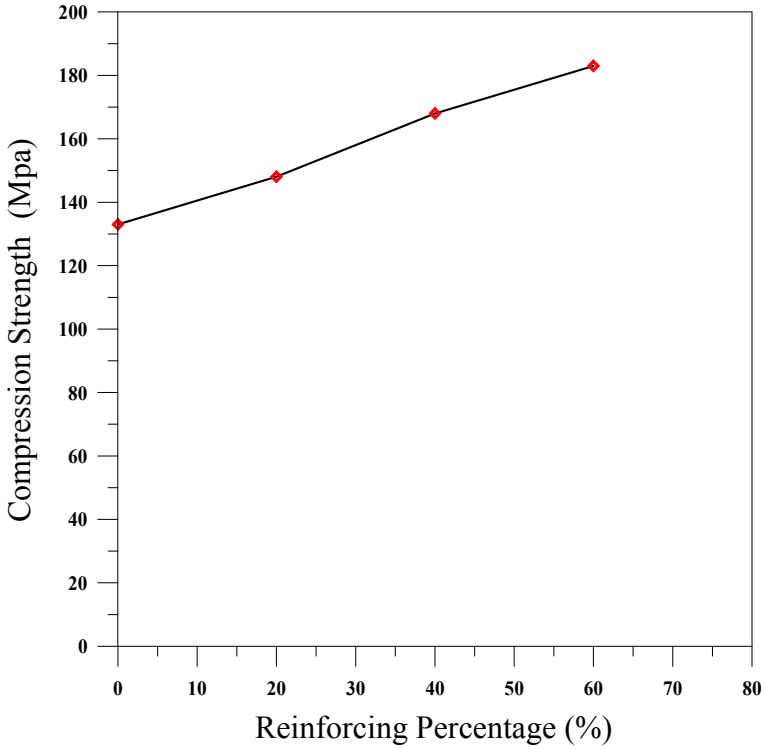
Compound	Fe	SiO_2	Al_2O_3	B_2O_3	Na_2O & K_2O	MgO	CaO_2	TiO_2	FeO
Content %	0.1	52-56	12-16	5-10	0-2	0-5	16-25	0-1.5	0-0.8



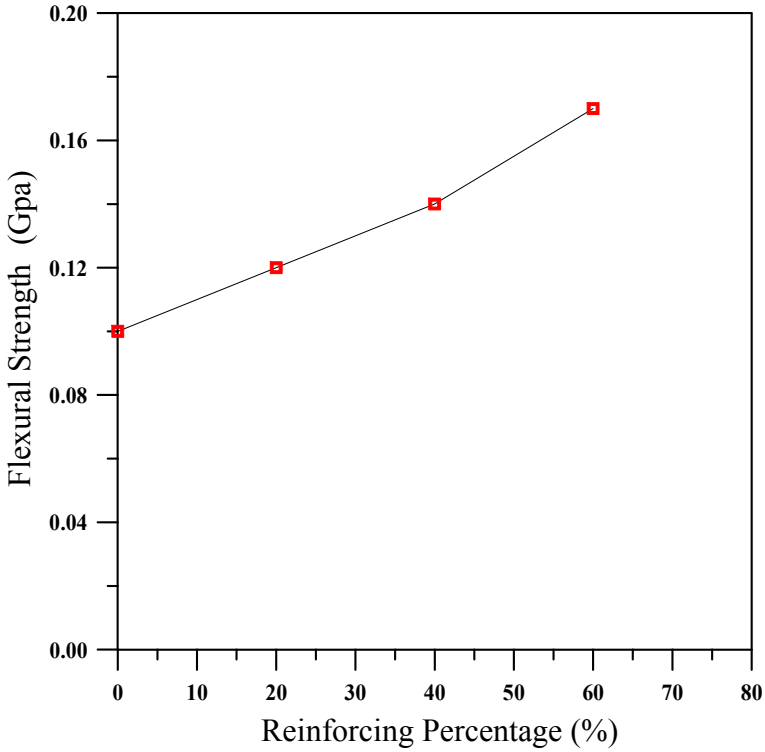
الشكل رقم (1) : إختبار مقاومة الصدمة



الشكل رقم (2) : إختبار مقاومة الشد



الشكل رقم (3) : إختبار مقاومة الإنضغاط



الشكل رقم (4): إختبار مقاومة الإنثناء