

## تأثير التقوية بالألياف على الموصلية الحرارية والخواص الميكانيكية للراتنجات المتصلبة بالحرارة

م . م . علي جاهل سلمان

المعهد التقني - بابل

### الخلاصة

إن الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير التقوية بألياف الكربون بشكل ظفائر محاكاة ثنائية الإتجاه ( $0^\circ - 90^\circ$ ) ذات كثافة سطحية ( $1.75\text{g/cm}^3$ ) على الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع بعد تقويته بنسب وزنية مختلفة من هذه الألياف (20%, 40%, 60%) حيث إستُخدمت معادلة فورير لحساب التغير في قيمة معامل التوصيل الحراري ( $k$ ). إضافة إلى ذلك فقد تم حساب التغير في قيم الخواص الميكانيكية لهذا الراتنج بنفس النسب الوزنية المذكورة أعلاه وقد شملت هذه الخواص كل من مقاومة الصدمة ، مقاومة الشد ، مقاومة الإنثناء ، مقاومة الإنضغاط ، والصلادة . لقد أظهرت النتائج تحسن الموصلية الحرارية والخواص الميكانيكية بعد التقوية بالألياف ، وترتفع القيمة الخواص المذكورة بزيادة نسبة التقوية .

الكلمات الدالة : راتنج البولي أستر غير المشبع ، الخواص الميكانيكية ، الموصلية الحرارية ، ألياف الكربون .

## EFFECT OF REINFORCING BY FIBERS ON THERMAL CONDUCTIVITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF THERMOSETTING RESINS

Ali J. Salaman  
Technical Institute-Babylon  
Assist. Lecturer

### ABSTRACT

The objective of this research is to study the effect of reinforcement by carbon fibers as woven roving ( $0^\circ - 90^\circ$ ) with density ( $1.75\text{g/cm}^3$ ) on thermal conductivity for unsaturated polyester resin after reinforcing it by different percentage of fibers (20%, 40%, 60%) and we used Fourier equation to calculate the thermal conductivity coefficient ( $k$ ). Also the mechanical properties of this resin was calculated with the same reinforcing percentage of fibers and these properties included : impact strength , tensile strength , compression strength , flexural strength , and hardness . The results show that improvement in thermal and mechanical properties after reinforced by fibers , and these properties will rise as increased in reinforcement percentage .

المقدمة (Introduction)

عُرفت تقنية تصنيع المواد المتراكبة بأبسط صورها منذ قرون عدة حيث إستخدمها البابليون في بناء بيوتهم عن طريق خلط نشارة الخشب بمادة الطين لتقويته . تتكون المادة المتراكبة من دمج مادتين أو أكثر وتشمل الخلائط (Blends) والبلاستيك (Reinforced Plastic) مختلفتي الخواص الميكانيكية والفيزيائية. إن عملية الدمج هذه تؤدي إلى الحصول على مادة جديدة ذات خواص هندسية و فيزيائية تختلف عن خواص المواد الداخلة في تركيبها . يعتمد الإستخدام العام للمادة المتراكبة بشكل كبير على الخواص الميكانيكية والفيزيائية لهذه المواد لذلك فإن دراسة هذه الخواص تحت تأثير القوى والأحمال في ظروف مختلفة يكتسب أهمية كبيرة لمعرفة مدى ملائمة هذه الخواص لمكان عمل هذه المواد [1]. يوجد في الطبيعة الكثير من الأمثلة على المواد المتراكبة ومنها ألياف السليلوز مع مادة الخشب . أما في الصناعة فإن تقوية الراتجات بالألياف الصناعية هي الأكثر إنتشاراً . و لتصنيع مادة متراكبة يجب توفر مادتين هما :

## ١- المادة الأساس (Matrix Material) .

تكون مواد الأساس أما مواد معدنية متكونة من المعادن وسبائكها وتتميز بثقل وزنها ومطانتها العالية أو قد تكون مواد سيراميكية والتي تمتاز بخفة وزنها ومقاومتها المرتفعة لدرجات الحرارة العالية ولكنها ضعيفة المقاومة لقوى الصدم . كذلك تكون المادة الأساس مواد بوليميرية وهي الأكثر إستعمالاً وإنتشاراً لما تتميز به من خواص ميكانيكية وحرارية جيدة ، ومن الأمثلة على المواد البوليميرية راتنج الإيبوكسي و الفينول والبولي أستر [2].

## ٢- مادة التقوية (Reinforcing Material) .

يجب توفر ميزتين أساسيتين في هكذا مواد وهي المقاومة العالية والمطيلية المنخفضة حتى تستطيع تقوية المواد الأساس . هناك عدة طرق للتقوية منها التقوية بالدقائق (Particulate) والتي تكون بقطر أكبر من (1 µm) ، كذلك تتم التقوية بالتشتت (Dispersed) ويكون قطر الدقائق أقل من (0.1µm). أما أكثر أساليب التقوية شيوعاً فهي التقوية بالألياف (Fibers) نظراً لما تتميز به من خواص مقارنة بالمواد الراتنجية ، وتكون الألياف بأنواع وأشكال مختلفة فمنها ما يكون بشكل مستمر أو مقطّع أو بشكل ظفائر محاكاة [2].

## التقوية بالألياف (Fibers Reinforcing)

إن الهدف الرئيسي من التقوية بالألياف هو لتحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية للراتنجات حيث تزداد مقاومة الشد والصدمة والصلادة بشكل كبير مما يسمح باستخدام هذه المواد المقواة في مجالات صناعية عنية . يطلق على هذه المواد المترابكة بالمتقدمة (Advanced Composites) وذلك لتفريقها عن المواد المحشوة البوليمرية (Filled Polymers) . إن الألياف في هذا النوع من المواد المترابكة هي المسؤول الرئيسي عن تحمل الأحمال الخارجية ، ومن أكثر أنواع الألياف شيوعاً في مجال المواد المترابكة المتقدمة هي ألياف الكربون والزجاج و كيفلار [٣].

## راتنج البولي أستر (Polyester Resin)

يعتبر راتنج البولي أستر أحد أنواع الراتنجات المتصلدة بالحرارة (Thermosetting Resins) ويتم تحضيره من تفاعل مونومير الجليكول (Glycol Monomer) مع حامض غير مشبع ثنائي القاعدة (Dibasic Acid) ويشترط أن يمتلك أحد المونوميرين أو كليهما على رابطة مضاعفة في تركيبه، وبعد تكون البوليمر الخطي يمزج مع مونومير فنيل فعال مثل الستايرين (Styrene) بالإضافة إلى عامل مساعد يتكسر إلى شقوق حرة وبهذا تتم بلمرة مونومير الفنيل مع الروابط المزدوجة على طول سلسلة البوليمر وبذلك يتكون البولي أستر. يمتلك راتنج البولي أستر خواص حرارية جيدة إذ يتحمل الحرارة العالية (بالنسبة للراتنجات) ولغاية (260°C) ولكنه يعاني تفككاً تلقائياً (Spontaneous Decomposition) عند درجة حرارة تقارب (300°C) حتى بعدم وجود الأوكسجين. وكذلك يمتاز بمقاومة كهربائية ممتازة ومقاومة كيميائية للمذيبات والأحماض والأملاح ومقاوم للبلل والتأثيرات البيئية، بالإضافة لكونه قليل الكلفة ولكنه يتصف بالضعف والهشاشة. ويضاف البولي أستر إلى الألياف الزجاجية لصناعة هياكل القوالب ومكونات أجسام الطائرات والسيارات وغيرها من الصناعات [٤].

## ألياف الكربون (Carbon Fibers)

تمتلك ألياف الكربون العديد من المزايا منها: الخمولية حيث تمتلك مقاومة عالية ضد الرطوبة ولأغلب المواد الكيميائية الشائعة ، موصلية كهربائية وحرارية عالية على طول محور الألياف ، وثبات الأبعاد وإنخفاض التمدد الحراري المحوري . تعاني جميع أنواع ألياف الكربون من الكسر الهش تحت تأثير الإجهاد وهذا متوقع نظراً لإرتفاع مقاومتها وإنخفاض مطيليتها . تتضمن ألياف الكربون بلورات صغيرة من مادة (Turbostratic Graphite) والتي هي أحد الأشكال المتصلة للكربون [٥]. الجدول رقم (١) يوضح خواص ألياف الكربون عند (20 °C) .

## المُوصِلِيَّةُ الحَرَارِيَّةُ (Thermal Conductivity) .

عند وجود فرق حراري بين سطحين سوف تنتقل الحرارة من السطح ذو درجة الحرارة الأعلى إلى السطح ذو درجة الحرارة الواطئة ، وتُعرف هذه الظاهرة بالمُوصِلِيَّةُ الحَرَارِيَّةُ . وعلى هذا الأساس يمكن تعريف المُوصِلِيَّةُ الحَرَارِيَّةُ على إنها معدل إنسياب الحرارة عبر وحدة المساحة خلال وحدة الزمن عند وجود إنحدار حراري بين سطحين مقداره درجة مئوية واحدة <sup>[1]</sup>. تختلف آلية التوصيل الحراري باختلاف حالات المادة ( صلبة ، سائلة ، غازية ) والذي من خلاله تصنف المادة على إنها عازلة أم موصلة للحرارة . تعتمد المُوصِلِيَّةُ الحَرَارِيَّةُ في المواد المعدنية على إنتقال الإلكترونات الحرة ، أما في المواد المترابكة فيعتمد التوصيل الحراري على توجيه الألياف (Fibers Orientation) حيث تبدي المواد المترابكة موصلية قوية بالاتجاه الطولي للألياف (In-Plane) وموصلية أضعف باتجاه السُمك (Through the Thickness) . بشكل عام تزداد الموصلية الحرارية للراتجات بعد التقوية بالألياف وهذه الزيادة متوقعة نظراً لقابلية الألياف ككل للتوصيل الحراري مقارنة بالمادة الأساس (الراتنج) <sup>[3]</sup> .

## خواص المواد المترابكة (Composite Materials Properties) .

تعتمد الإستخدامات العامة والهندسية للمواد المترابكة 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 الأخرى . إن جميع هذه الخواص تعتمد كثيراً على التركيب الجزيئي للراتنج وعلى وزنه الجزيئي وعلى القوى الجزيئية. كما تعتمد هذه الخواص إلى حد كبير على مواد التقوية وعلى المواد المضافة مثل الحشوات والملدنات <sup>[1]</sup>. ومن الخواص المناقشة في هذا البحث ما يأتي :

### ١- مقاومة الصدمة (Impact Strength) .

تُعتبر مقاومة الصدمة عن قدرة المادة لمقاومة الكسر تحت تأثير حمل مفاجئ ، كما تعتبر مقياساً لمثانة المادة حيث المواد الأكثر مثانة هي التي تبدي أعلى مقاومة للصدمة <sup>[٧]</sup> .

### ٢- مقاومة الشد (Tensile Strength) .

تعتبر مقاومة الشد مقياساً لقابلية المادة على مقاومة القوى الساكنة التي تحاول سحب المادة وكسرها . تتكون المواد المترابكة الليفية من ألياف قوية هشّة مغمورة في المادة الأساس التي تتصف بكونها أكثر مطيلية <sup>[٥]</sup> .

### ٣- 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 .

## ٤ - مقاومة الإنثناء (Flexural Strength) .

وتعتبر هذه الخاصية مقياساً لمقاومة الإنثناء ، ويمكن تعريفها على إنها أقصى حمل ساكن يمكن تسليطه على نموذج الإختبار قبل أن يخضع أو ينكسر وتقاس بوحدات (Mpa) . [٦]

## ٥ - الصلادة (Hardness) .

تُعرف الصلادة على إنها مقاومة المادة للخدش أو الإختراق ، وهناك عدة مقاييس عالمية مختلفة لتعيين صلادة المواد اللدائنية وأكثرها شيوعاً صلادة برينل و صلادة روكويل . يحدث الإختراق بمعدل بطيء في سطح النموذج أثناء تسليط القوة لأجل الإختبار مما يؤدي إلى حدوث زحف موضعي ، وبعد زوال القوة المؤثرة تحصل إستعادة بطيئة نسبياً في الإختبار مما يؤدي إلى تغيير الأثر المعتمد في حساب صلادة المادة ولمنع حدوث ذلك يتوجب الإلتزام بالفترة الزمنية المحددة لتسليط القوة على سطح النموذج [٦] .

الجزء العملي (Experimental Work) .

يتضمن الجزء العملي إعداد المواد الأولية وكيفية تحضير المادة المركبة إضافة إلى الإختبارات الميكانيكية التي تم إجرائها على المادة المترابكة .

## أولاً - المواد المستخدمة في البحث .

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

## ١ - راتنج البولي أستر غير المشبع (Unsaturated Polyester Resin) .

تم إستخدام راتنج البولي أستر غير المشبع ( Palatel A420 ) والموضح تركيبه الكيميائي في الشكل رقم (١) . هذا الراتنج مجهز من شركة (BASF Aktiengesellschaft) .

## ٢ - ألياف الكربون (Carbon Fibers) .

تم إستخدام ألياف الكربون ثنائية الإتجاه (٠°-٩٠°) ذات كثافة سطحية  $(1.75g/cm^3)$  ( النوع رقم II في الجدول رقم (٢) ) . ألياف الكربون مجهزة من شركة (Hyfil Ltd .,UK) .

## ثانياً - تحضير النماذج (Test Specimens Preparation) .

وتشمل الآتي :

## ١ - تحضير نماذج إختبار الموصلية الحرارية .

تكون هذه العينات بقطر (25mm) وسمك (3mm) وهي تحضر كآلاتي : يتم إضافة المادة المعجلة إلى راتنج البولي أستر غير المشبع وتخلط جيداً معه تسمى هذه المادة (Cobalt Octoatel) والتي تحتوي على كوبالت فعال بنسبة (6%) بعدها تضاف إليه المادة المصلدة (MEKPO) بنسبة (٢%) . توضع كمية من الراتنج على سطح القالب الداخلي وتنتشر بفرشاة لضمان توزيعه بانتظام بعدها توضع الطبقة الأولى من الألياف ثم نضع كمية أخرى من الراتنج عليها وهكذا لبقية الطبقات لتتكون مادة متراكبة بالسمك المطلوب . تم استخدام الطريقة الوزنية في حساب كمية كل من الألياف والراتنج المستخدمة حيث كانت نسبة الألياف هي (20% ، 40% ، 60%) في تصنيع المادة المتراكبة ، بعدها تكبس هذه النماذج وتترك لتتصلب ، بعدها يتم إخراجها من القالب ووضعها في الفرن في فرن درجة حرارته (75°C) لإكمال التصلب .

## ٢ - نماذج الإختبارات الميكانيكية .

وتشمل كل من:

## ١ - نماذج إختبار الصدمة (Impact Specimens) .

تم تصنيع نماذج إختبار الصدمة حسب المواصفات القياسية (ASTM-E23) والملائمة للفحص في جهاز الصدمة نوع شاربي (Charpy Impact) . عمق الحز في النماذج (0.5 mm) ونصف قطر قاعدة الحز (0.25 mm) وبزاوية حز مقدارها (٤٥°) . أستخدم جهاز فحص مقاومة الصدمة نوع شاربي (Charpy Impact Instrument) للتعرف على مدى مقاومة المادة المتراكبة لحمل الصدم .

## ٢ - نماذج إختبار مقاومة الشد (Tensile Specimens) .

تم اعتماد المواصفة القياسية (ISO-R-527) في تصنيع نماذج إختبار مقاومة الشد. أستخدم هذا الإختبار لمعرفة خواص المادة المتراكبة تحت تأثير حمل شد محوري بإتجاه واحد ، حيث تم استخدام جهاز الإختبارات العام (Universal Instrument) ألماني المنشأ في قياس هذه الخاصية وبمعدل حمل (20 KN) .

## ٣ - نماذج إختبار مقاومة الإنضغاط (Compression Specimens) .

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

## ٤ - نماذج إختبار مقاومة الإنثناء (Flexural Strength Specimens) .

أُعدت المواصفة القياسية (ASTM D790) في تصنيع نماذج الإختبار والتي كانت على شكل نماذج مستطيلة بأبعاد (10mm×135mm) .

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 .

### ٣ - نماذج إختبار الصلادة (Hardness Specimens)

تم تصنيع نماذج إختبار الصلادة على شكل أقراص دائرية بقطر (25 mm) وسمك (10 mm) . تم إستخدم طريقة برينل (Brinell Hardness) لحساب صلادة المادة المترابكة ، حيث أُستخدمت كرة فولاذية بقطر (5 mm) مع تسليط حمل مقداره (10 Kg) لمدة (15 sec) وبعد زوال القوة المؤثرة يتم قياس قطر الأثر الناتج على السطح .

### ثالثاً - قياس الموصلية الحرارية .

يمكن إستخدم قانون فوريير (Fourier Law) في حساب معامل الموصلية الحرارية (k) وينص هذا القانون على :

$$Q = -k \times A \times \left( \frac{\Delta T}{\Delta X} \right)$$

حيث : Q = كمية الحرارة المارة بوحدة الزمن وتقاس بوحدات (W)

k = معامل الموصلية الحرارية ويقاس بوحدات (W/m.°C)

A = مساحة مقطع إنسياب الحرارة وتقاس بوحدات (m<sup>2</sup>)

$\left( \frac{\Delta T}{\Delta X} \right)$  = التدرج الحراري نسبة للمسافة ويقاس بوحدات (°C/m)

الشكل رقم ( 2 ) يوضح جهاز قياس الموصلية الحرارية (Heat Conduction Unit) والمصنع من قبل شركة (P.A.Hilton Ltd England).

### النتائج والمناقشة (Results and Discussion)

من خلال هذه الإختبارات التي أُجريت على المادة المترابكة المتقدمة والمكونة من راتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الكربون ثنائية الإتجاه (٠°-٩٠°) تم الحصول على النتائج الموضحة في المخططات البيانية والتي تُمثل قيم الخواص الميكانيكية والموصلية الحرارية نسبة إلى مقدار التقوية بالألياف .

## ١ - نتائج الإختبارات الميكانيكية .

١- مقاومة الصدمة . الشكل رقم (٣) يوضح قيم مقاومة الصدمة مع نسبة التقوية بالألياف ، حيث تعتبر مقاومة الصدمة بشكل عام منخفضة للراتنجات نظراً لهشاشتها ولكن بعد تقويتها بالألياف تزداد قيمة مقاومة الصدمة ويرجع السبب في ذلك إلى كون الألياف سوف تتحمل الجزء الأكبر من طاقة الصدم المسلطة على المادة المترابطة مما يحسن هذه المقاومة . وهكذا تزداد مقاومة الصدمة مع زيادة نسبة التقوية بالألياف إلى (٤٠%) و (٦٠%)<sup>[8]</sup> .

٢- مقاومة الشد . تعتبر الراتنجات من المواد الهشة حيث مقاومتها للشد منخفضة جداً وهذا ما نراه في الشكل رقم (٤) ، 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 المترابطة وذلك لأن الألياف تتميز بمطيليتها المنخفضة . وتزداد مقاومة الشد بزيادة نسبة الألياف المضافة حيث تشغل الألياف حيز أكبر داخل الراتنج مما يسمح بتوزيع الحمل المسلط عليها بشكل أفضل<sup>[9]</sup> .

٣- مقاومة الإنضغاط . إن تقوية المواد الراتنجية بالألياف يؤدي إلى إرتفاع قيم مقاومة الإنضغاط للمادة المترابطة الناتجة من هذا التقوية وهذا واضح من خلال الشكل رقم (٥) الذي يمثل إختبار مقاومة الإنضغاط لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الكربون ، حيث مقاومة الإنضغاط ترتفع بشكل حاد عند التسليح بألياف الكربون نظراً لتوزيع الحمل على الألياف وكذلك كفاءة الربط بين المادة الأساس وألياف التقوية مما ويرفع قيم مقاومة الإنضغاط . وتزداد مقاومة المادة المترابطة للإنضغاط مع زيادة نسبة الألياف المضافة لنفس السبب المذكور أعلاه<sup>[١٠]</sup> .

٤- مقاومة الإنثناء . تمتلك المواد البوليمرية مقاومة إنثناء منخفضة وهذا راجع إلى هشاشة هذه المواد ومن ضمنها راتنج البولي أستر غير المشبع وكما موضح في الشكل رقم (٦) الذي يمثل إختبار مقاومة الإنثناء لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الكربون حيث تكون قيمة مقاومة الإنثناء منخفضة قبل التقوية بالألياف ، ولكن هذه المقاومة تبدأ بالإرتفاع لهذا الراتنج بعد تقويته بألياف الكربون ويعود السبب في ذلك إلى إرتفاع معامل مرونة هذه الألياف مما يؤدي إلى تحملها إلى الجزء الأكبر من الحمل المسلط على المادة المترابطة مما يؤدي بدوره إلى زيادة مقاومة الإنثناء لهذه المادة المدعمة بالألياف . وتزداد هذه المقاومة مع زيادة نسبة التقوية بالألياف<sup>[١١]</sup> .

٥- الصلادة . تتميز المواد اللدائنية بشكل عام بإنخفاض صلابتها حيث نلاحظ من الشكل رقم (7) تدني قيمة صلادة راتنج البولي أستر غير المشبع قبل التقوية بالألياف ، إلا إن قيمة الصلادة ترتفع بشكل حاد عند التسليح بألياف الكربون نظراً لتوزيع الحمل على الألياف مما يقلل معدل الإختراق لسطح المادة المترابطة



ويرفع قيم صلابتها . وتزداد صلادة المادة المترابكة مع زيادة نسبة الألياف المضافة لنفس السبب المذكور أعلاه [٩] .

## ٢ - نتائج اختبار الموصلية الحرارية .

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها من جهاز الموصلية الحرارية والتي تم تطبيقها في معادلة فورير من أجل حساب قيمة معامل الموصلية الحرارية ( $k$ ) نلاحظ إن الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع قبل تقويته بألياف الكربون تزداد مع إرتفاع درجة الحرارة نتيجة للإهتزازات الهيكلية في بنيته الداخلية حيث كلما إرتفعت درجة الحرارة زادت الإهتزازات الهيكلية مما يسبب موصلية أكثر للحرارة وهذا ما نلاحظه في الشكل رقم (٨) والذي يمثل الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع ، حيث تبدأ الموصلية بالإرتفاع مع زيادة درجة الحرارة ويرجع السبب في ذلك كما ذكرنا إلى الإهتزازات في الهيكل الداخلي للراتنج التي تزداد بإرتفاع درجة الحرارة [10] .

وتزداد قيمة الموصلية الحرارية للراتنج بعد التقوية بالألياف وكما موضح في الشكل رقم (٩) والذي يمثل الموصلية الحرارية للمادة المترابكة المكونة من (٨٠%) راتنج و (٢٠%) ألياف . إن هذه الزيادة في الموصلية الحرارية راجعة إلى كون ألياف الكربون هي موصل جيد للحرارة . وعند زيادة نسبة التقوية بالألياف إلى (٤٠%) وإنخفاض نسبة الراتنج إلى (٦٠%) وكما موضح في الشكل رقم (١٠) الذي يمثل الموصلية الحرارية للمادة المترابكة المكونة من (٦٠%) راتنج و (٤٠%) ألياف حيث تزداد الموصلية الحرارية للمادة المترابكة ، وهذه الزيادة في الموصلية متوقعة نظراً لقدرة الألياف على التوصيل الحراري مقارنة بالمادة الراتنجية [11] .

وتزداد هذه الموصلية الحرارية عند زيادة نسبة الألياف إلى (٦٠%) وكما هو مدرج في الشكل رقم (١١) والذي يمثل الموصلية الحرارية للمادة المترابكة المكونة من (٤٠%) راتنج و (٦٠%) ألياف والسبب في هذه الزيادة هو وجود نسبة كبيرة من الألياف داخل المادة المترابكة والتي تعتبر موصل جيد للحرارة كما ذكرنا سابقاً [12] . الشكل رقم (١٢) يوضح مقارنة بين الحالات الأربعة للتقوية .

## الإستنتاجات (Conclusions) .

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

- ١ - إنخفاض قيم الخواص الميكانيكية لراتنج البولي أستر غير المشبع كونه من المواد الهشة .
- ٢ - تحسُن قيم هذه الخواص الميكانيكية لراتنج البولي أستر غير المشبع بعد تقويته بألياف الكربون .

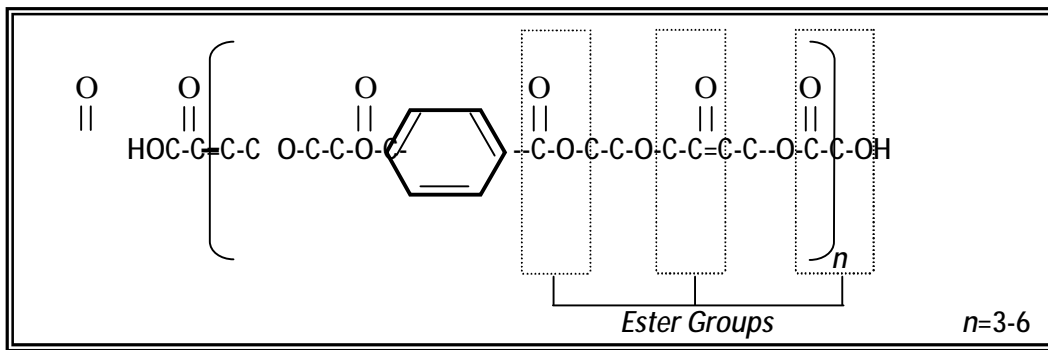
- ٣- تزداد قيم الخواص الميكانيكية مع زيادة نسبة ألياف الكربون المضافة بسبب المقاومة العالية للألياف .
- ٤- تحسن الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع بعد تقويته بألياف الكربون .
- ٥- زيادة الموصلية الحرارية للمادة المترابطة مع زيادة درجة الحرارة والسبب يرجع إلى التقوية بألياف الكربون والتي تعتبر موصل جيدة للحرارة مقارنة بالمادة الأساس .

### المصادر (References)

- 1- Moslem, Ali Ibrahim “ Study Using of Antimony Trioxide Material as a Flame Retardant Material ”, MSC Thesis , Babylon University , Iraq , 2003 .
- 2- P. Vincenzini and M. Singh “Advanced Inorganic Fibrous Composites V ” , TransTech Publications, 2006 .
- 3- P.K. Mallick “Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design”, 3<sup>rd</sup> Edition , CRC Press, 2007.
- 4- efunda Engineering Fundamentals “ Polymer Material Properties ” ,(2001) .
- 5- E.P.DeGarmo, J.T. Black, and R.A. kohser “ Materials and processes in Manufacturing ” , 10<sup>th</sup> Edition , john Wiley & Sons , 2008 .
- 6- Liyong Tong ,Adrian P.Mouritz ,Michael K.Bannister “3D Fiber Reinforced Polymer Composites”, First Edition , Elsevier Science Ltd , 2002 .
- 7- B.A.Azhdar “Impact Fracture Toughness of Fiber Reinforced Epoxy Resin” ,M.SC Thesis ,U.O.T ,Iraq , 1992 .
- 8- G.Dorey ,G.R.Sidey and J.Hutchings “Impact Properties of Carbon Fiber/ Kevlar 49 Fiber Hybrid Composites” , Composites 9 (January 1978) pp.25-32.
- 9-Ali I.Al-Mosawi “Study of Some Mechanical Properties for Polymeric Composite Material Reinforced by Fibers ” , Al-Qadessiyah Journal For Engineering Science , Vol 2 , No 1 , 2009 . pp.14 – 24 .
- 10- Dr. Abbas A. Al-Jeebory, Ali I.Al-Mosawi, Sajed A. Abdul Allah “Effect of percentage of Fibers Reinforcement on Thermal and Mechanical Properties for Polymeric Composite Material ” , Iraqi Journal of Mechanical and Materials Engineering , First Conference of Engineering College , 2009 .
- 11- Bogomolov V. and Kartenko N. “Thermal Conductivity of the Opal- Epoxy Resin Nanocomposite ” , Physics of the Solid State , Vol 45, No 5, PP.957-960, 2003.
- 12- F.Rondeaux , ph. Bredy and J.M.Rey. “Thermal Conductivity Measurements of Epoxy Systems at Low Temperature” , Cryogenic Engineering Conference (CEC), USA, July 16-20, 2001 .

الجدول رقم (١) : خواص ألياف الكربون عند (20 °C) [٥]

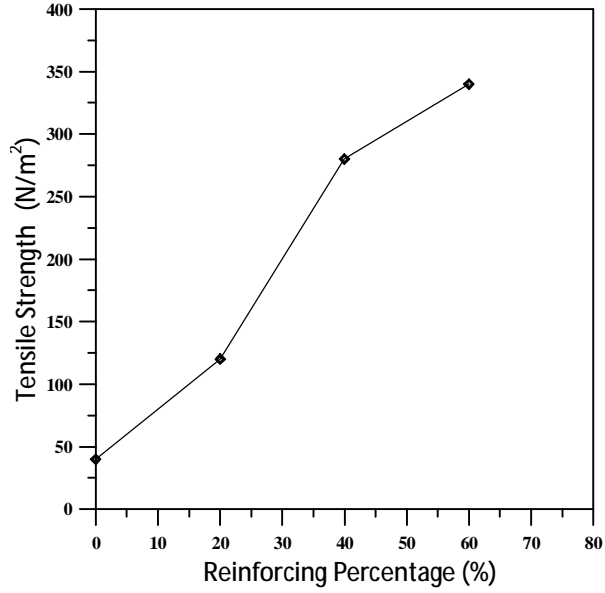
Property	Diameter μm	Density 10 <sup>3</sup> Kg/m <sup>3</sup>	Young's Modulus,GN/m <sup>2</sup>	Tensile Strength,GN/m <sup>2</sup>	Elongation to Fracture , %
Type I	7-9.7	1.95	390	2.2	0.5
Type II	7-8.7	1.75	250	2.7	1



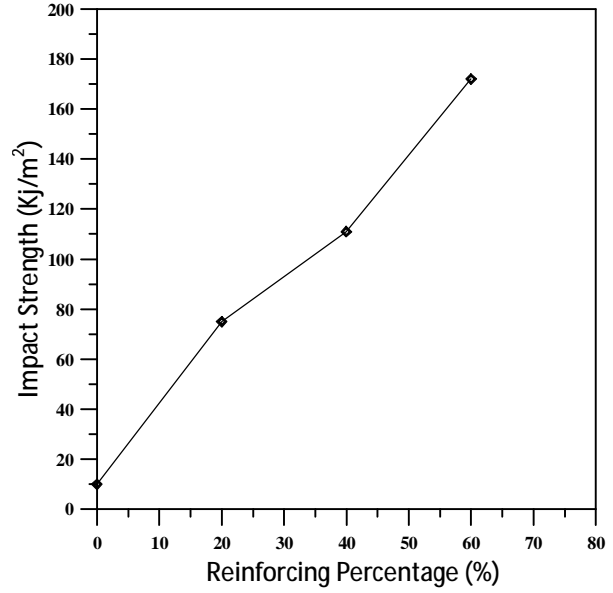
الشكل رقم (١): التركيب الكيميائي لراتنج البولي أستر غير المشبع [1]



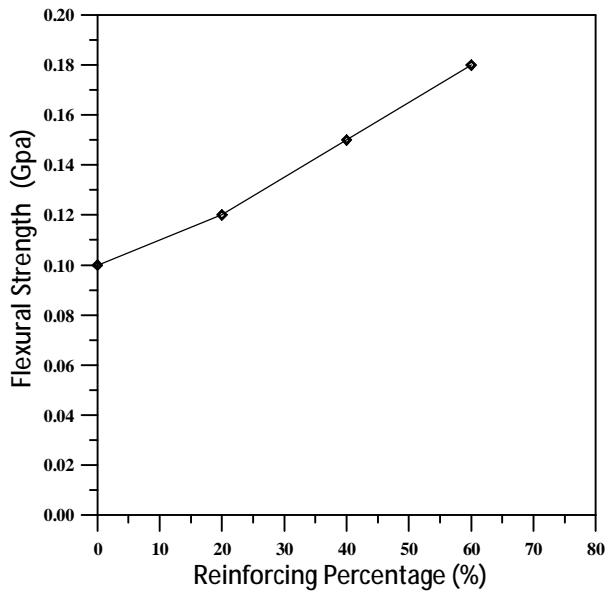
الشكل رقم (٢) : جهاز قياس الموصلية الحرارية



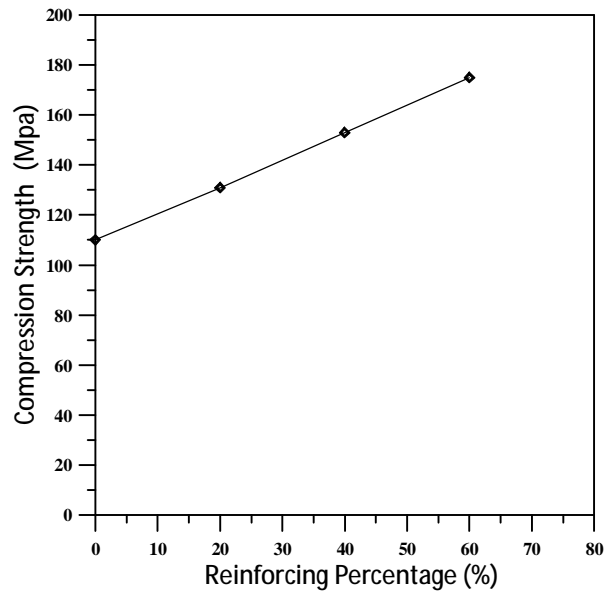
الشكل رقم (٤) : إختبار مقاومة الشد



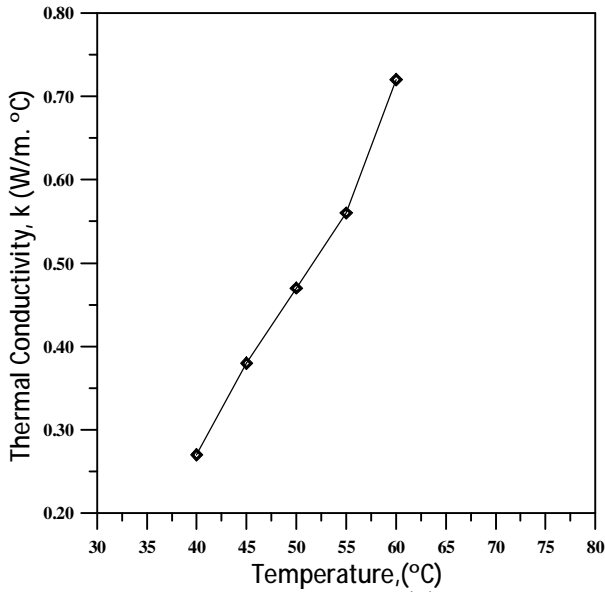
الشكل رقم (٣) : إختبار مقاومة الصدمة



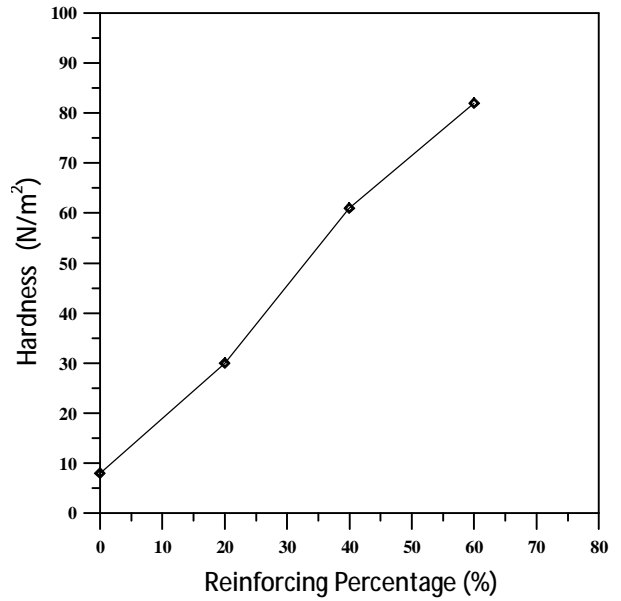
الشكل رقم (٦) : إختبار مقاومة الإنثناء



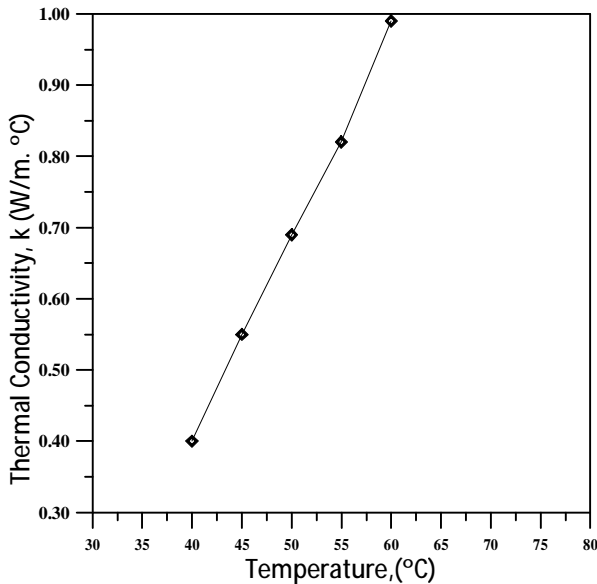
الشكل رقم (٥) : إختبار مقاومة الإنضغاط



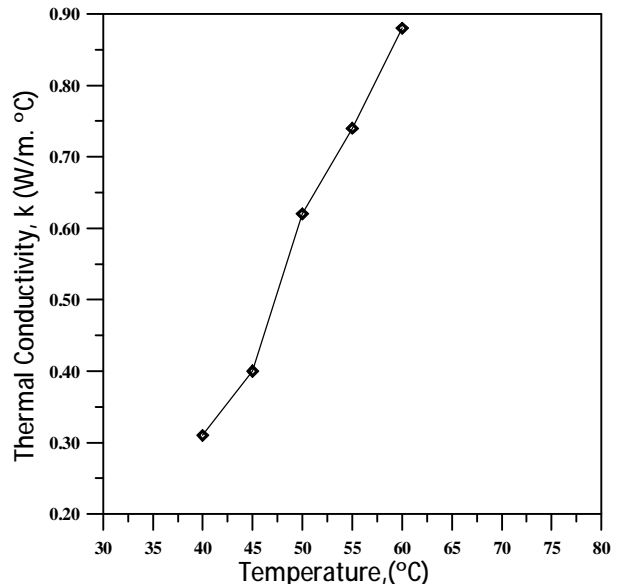
الشكل رقم (٨): الموصلية الحرارية للراتنج



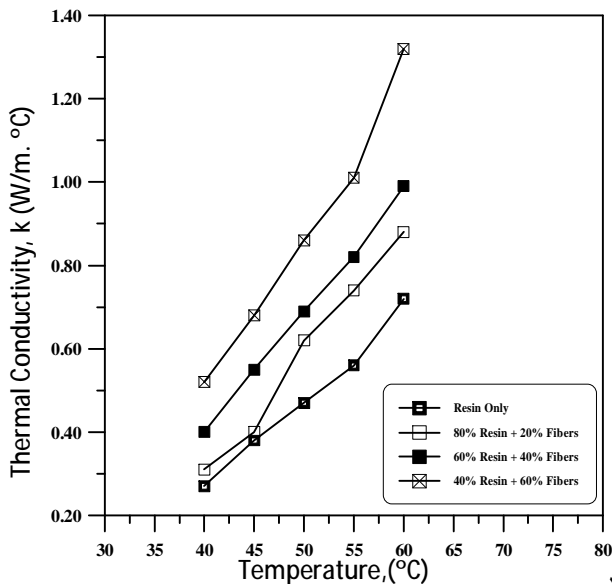
الشكل رقم (٧): إختبار الصلادة



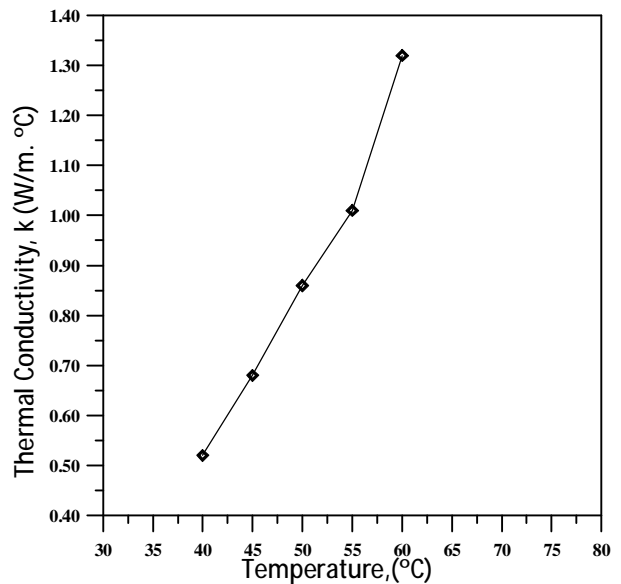
الشكل رقم (١٠): (٦٠% راتنج + ٤٠% ألياف)



الشكل رقم (٩): (٨٠% راتنج + ٢٠% ألياف)



الشكل رقم (١٢): مقارنة بين الحالات الأربعة



الشكل رقم (١١): (٤٠% راتنج + ٦٠% ألياف)