تأثير نسبة التقوية بالألياف على الخواص الحرارية و الميكانيكية لمادة مركبة بوليميرية

د.عباس عليوي الجبوري
جامعة القادسية
كلية الهندسة

علي إبراهيم الموسوي
المعهد التقني – بابل
قسم الميكانيك

ساجد عبد الخضر عبد الله
المعهد التقني – بابل
قسم الميكانيك

الخلاصة:

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير تغيير نسبة التقويـة بالألياف علـى الموصـلية الحرارية الخواص الميكانيكية لمادة مركبة بوليميرية مكونـة مـن راتـنج الإيبوكـسي نـوع كونبكسترا (EP-10) المدعم بالألياف الزجاجية ثنائية الإتجاه(45º-0º) نوع (S) ذات كثافـة سطحية ($550g\backslash cm^3$) حيث تـم إسـتخدام نـسب تقويـة مختلفـة للـراتنج بهـذه الألياف (٢٠%،٤٠%،٦٠%،٨٠%) ودراسة مدى تأثير ذلك على الموصلية الحرارية للمادة المركبـة نتيجة لهذا التغيير حيث إستُخدمت معادلة فورير لحساب التغير فـي قيمـة معامـل التوصـيل الحراري (k) حيث تم إستخدام نسب مختلفة من الألياف لتقوية مادة الـراتنج وهـي (20% ,40% ,60%) في تقوية نماذج الإختبارات الميكانيكية الخاصة بحساب كل من مقاومة الصدمة ، مقاومة الشد ، مقاومة الإنثناء ، وكما موضح في المخططات البيانية بين درجة الحـرارة و معامل الموصلية الحرارية (k) وبين الخواص الميكانيكية ونسبة التقوية.

الكلمات الدالة: المادة المركبة، الخواص الحرارية، الموصلية الحرارية.

Effect of Percentage of Fibers Reinforcement on Thermal and Mechanical Properties for Polymeric Composite Material

Dr. Abbas A. Al-Jeebory
Al-Qadissiya University
College of Engineering

Ali I. Al-Mosawi
Technical Institute-Babylon
Mechanical Department

Sajed A. Abdul Allah
Technical Institute-Babylon
Mechanical Department

ABSTRACT

The objective of this research is to study the effect the change of reinforcement percentage by fibers on the thermal conductivity for polymeric composite material consist of conbextra epoxy (EP-10) resin reinforced by biaxial woven roving S–type glass fibers (٠º-٤٥º) with density (550 g/cm^2) where we used different percentage of fibers reinforcement to the resin (20%,40%,60%,80%) and studied the influence that on thermal conductivity for composite material due to this change, and we used Fourier

equation to calculate the thermal conductivity coefficient (*k*),and we used reinforcement percentages (20%,40%,60%) to reinforced the mechanical tests specimens to calculated impact strength, tensile strength, flexural strength as illustrated in diagrams which represent the relation between thermal conductivity coefficient (*k*) with temperature and between mechanical properties and reinforcement percentages.

Keywords: Composite Material, Thermal Conductivity, Thermal Properties.

I – المقدمة (Introduction):

عرفتْ تقنية تصنيع المواد المركبة بأبسط صورها منذ قرون عِدة حيث إستخدمها البابليون في بناء بيوتهم عن طريق خلط نشارة الخشب بمادة الطين لتقويت. تتكون المادة المركبة من جمع مادتين مختلفتي الخواص الميكانيكية والفيزيائية والغرض من هذا الجمع هو إستنباط خواص جديدة لم تكن متوفرة في المواد الأصلية [علي ،٢٠٠٣]. يوجد في الطبيعة الكثير من الأمثلة على المواد المركبة ومنها ألياف السليلوز مع مادة الخشب . أما في الصناعة فإن تقوية الراتنجات بالألياف الصناعية هي الأكثر إنتشاراً. و لتصنيع مادة مركبة يجب توفر مادتين هما:

١ - المادة الأساس (Matrix Material).

وتمثل المادة المستمرة وتكون على أنواع عديدة هي المعدنية ، السيراميكية ، والمواد الراتنجية والتي تعتبر أفضل المواد الأساس لما تمتاز به من خواص ميكانيكية وحرارية جيدة ، كما تتميز بإمكانية تقويتها بأكبر كسر حجمي ليفي بالمقارنة مع مواد الأساس المعدنية والسيراميكية إضافة إلى إنخفاض كلفتها وسهولة تصنيعها ومن الأمثلة على المواد الراتنجية هو راتنج البولي أستر ، الفينول فورمالدهيد ، والإيبوكسي[Daniel, 2003].

٢- مادة التقوية (Reinforcing Material).

يجب توفر ميزتين أساسيتين في هذه المواد وهي المقاومة العالية والمطيلية المنخفضة حتى تستطيع تقوية المادة الأساس ، وهنالك طرق عديدة للتقوية منها التقوية بالدقائق، التقوية بالتشتت ، والتقوية بالألياف والتي تعتبر أكثر أساليب التقوية شيوعاً نظراً لما تتميز به من قوة كبيرة مقارنة بالمواد الراتنجية . تكون الألياف بأنواع وأشكال مختلفة فمنها ما يكون بشكل مستمر أو مقطع أو بشكل ظفائر محاكة ومن الأمثلة على ألياف التقوية هي الألياف الكاربونية وألياف كيفلار[Autar , 2006].

II – راتنج الإيبوكسي (Epoxy Resin) :

ينتمي راتنج الإيبوكسي إلى مجموعة الراتنجات المتصلبة بالحرارة حيث تتميز هذه الراتنجات بعدم إمكانية إعادة تشكيلها بالحرارة بعد تحولها إلى مادة صلبة نتيجة لتكون سلاسل بوليميرية طويلة متشابكة مع بعضها وهو ما يسمى بالربط التشابكي (*Cross Linking*). يحتوي راتنج الإيبوكسي على مجموعتين أو أكثر من مجاميع الإيبوكسايد (*Epoxide*) التي تتألف من ذرة أوكسجين مرتبطة مع ذرتي كاربون ترتبط مجموعة الإيبوكسي كيميائياً مع الجزيئات الأخرى لتشكيل شبكة ثلاثية الأبعاد ذات ربط تشابكي بعملية المعالجة (*Curing*)[ساجد ،٢٠٠٦]. يتميز راتنج الإيبوكسي بالصلادة والمقاومة الكيميائية العاليتين نسبياً إضافة إلى ذلك يمتلك هذا الراتنج قابلية إلتصاق نوعي عالي بسبب التركيب الكيميائي لهذا الراتنج والمتمثل في مجموعة الإيثرات والهيدروكسيل والمجاميع القطبية التي تعطي متانة وإلتصاق عالية وتكسب المادة صلادة وقوة ، لذلك يستعمل في التطبيقات التي تتطلب إداءاً وظيفياً عالياً. تتفاعل هذه الراتنجات مع المصلدات أثناء المعالجة ويكون التفاعل غير مصحوب بإنبعاث الماء أو تحرر أي منتجات ثانوية مما يجعل التقلص الحجمي قليل جداً (أقل من ٢%) وبالتالي يكتسب الراتنج قوة وخواص ميكانيكية عالية إضافة إلى ذلك تمتلك راتنجات الإيبوكسي المعالجة متانة عالية نتيجة للبعد بين نقاط الربط التشابكي ووجود السلاسل الإليفانية المتكاملة [ساجد ،٢٠٠٦].

III – التقوية بالألياف (Fibers Reinforcement):

إن الوظيفة الرئيسية للألياف في المادة المركبة هي تحمل معظم الحمل المسلط على المادة المركبة والتزويد بالجساءة، ولهذا السبب تمتلك مادة الليف مقاومة شد عالية ومعامل مرونة عالي. يمكن أن تكون الألياف المستخدمة في التقوية بشكل مستمر موزعة على طول المادة المركبة أو تكون غير مستمرة موزعة ينفس الإتجاه أو عشوائية ومن الأمثلة على الألياف هي الألياف الزجاجية وألياف الكاربون وألياف كيفلار [Mallick , 2007]. تستخدم الألياف الزجاجية بشكل واسع لتقوية المواد البولميرية . يمكن أن تكون الألياف الزجاجية بشكل حصيرة متعامدة (*Woven Roving*) موزعة على طول المادة الراتنجية أو بشكل ألياف مقطعة (*Chopped Strand*) تتوزع بشكل عشوائي أو بشكل نسيج زجاجي (*Glass Fabric*) أو على شكل خيوط وأشرطة . تمتلك الألياف الزجاجية الكثير من الصفات المميزة منها إمتلاكها لدرجة إنصهار عالية ومقاومة كيميائية جيدة ومقاومة شد عالية [Market Report , 2007].

IV- الموصلية الحرارية (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 بالموصِلية الحرارية .

وعلى هذا الأساس يمكن تعريف الموصِلية الحرارية على إنها معدل إنسياب الحرارة عبر وحدة المساحة خلال وحدة الزمن عند وجود إنحدار حراري بين سطحين مقداره درجة مئوية واحدة [Kahtan,Ali,2004]. تختلف آلية التوصيل الحراري بإختلاف حالات المادة (صلبة ، سائلة ، غازية) والذي من خلاله تصنف المادة على إنها عازلة أم موصلة للحرارة .

تعتمد الموصلية الحرارية في المواد المعدنية على إنتقال الإلكترونات الحرة ، أما في المواد المركبة فيعتمد التوصيل الحراري على توجيه الألياف (*Fibers Orientation*) حيث تبدي المواد المركبة موصلية قوية بالإتجاه الطولي للألياف (*In-Plane*) وموصِلية أضعف بإتجاه السمك(*Through the Thickness*) . بشكل عام تزداد الموصلية الحرارية للراتنجات بعد التقوية بالألياف وهذه الزيادة متوقعة نظراً لقابلية الألياف للتوصيل الحراري مقارنة بالمادة الأساس (الراتنج) .

V – الخواص الميكانيكية للمواد المركبة (The Mechanical 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. كما تعتمد هذه الخواص إلى حد كبير على مواد التقوية وعلى المواد المضافة مثل الحشوات والملدنات . ومن الخواص المدروسة في هذا البحث ما يأتي :

١- 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 البولميرية ولكن أكثر الطرق فاعلية في تحسين مقاومة الصدمة هي التقوية بالألياف.

٢- 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 مقاومته .وعندما تتهشم المادة الأساس تفشل المادة المركبة كلياً.

٣- مقاومة الإنضغاط (Compressive Strength).

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

VI- الجزء العملي (Experimental Part):

يشمل الجزء العملي الخاص بالبحث النقاط التالية :

أولاً- المواد المستخدمة في البحث.

تم في هذا البحث إستخدام المواد التالية :

١- راتنج الإيبوكسي نوع كونبكسترا (EP-10).

تم إستخدام راتنج الإيبوكسي نوع كونبكسترا (EP-10) كمادة أساس للمادة المركبة.

٢- ألياف الزجاج (Glass Fibers).

في هذه البحث تم إستخدام حصيرة من ألياف الزجاج ثنائية الإتجاه (0º -45º) نوع (*S-Glass*) ذات كثافة سطحية ($550g\backslash cm^3$) في تقوية راتنج الإيبوكسي نوع كونبكسترا (EP-10).

ثانياً- تحضير النماذج .

١- إختبار الموصلية الحرارية .

تم إستخدام القولبة اليدوية في تحضير نماذج الإختبار والموضحة تفاصيلها في الجدول رقم (١)، حيث تم تهيئة قطع دائرية من الألياف الزجاجية بقطر (*25mm*). يرش القالب بمادة بولي فنيل الكحول (*polyvinyl Alcohol*) الذي يسهل فصل النماذج من القالب . تم إستخدام المصلد (*Metaphenylene Diamic*) الذي يضاف إلى الراتنج بنسبة [٣:١] حيث يحدث التفاعل معهما في درجة حرارة الغرفة . توضع كمية من الراتنج على سطح القالب الداخلي وتنشر بفرشاة لضمان توزيعه بانتظام بعدها توضع الطبقة الأولى من الألياف ثم نضع كمية أخرى من الراتنج عليها وهكذا لبقية الطبقات لتتكون مادة مركبة بالسمك المطلوب وهو(*3mm*) ، ثم كبست هذه النماذج وتركت لتتصلب ، بعدها تم إخراجها من القالب ووضعت في فرن درجة حرارته (75 ºC) لإكمال التصلب.

الجدول رقم (١): تركيب نماذج إختبار الموصلية الحرارية

رقم النموذج (القطعة)	النموذج الأول	النموذج الثاني	النموذج الثالث	النموذج الرابع
نسبة الراتنج (نسبة وزنية %)	٨٠	٦٠	٤٠	٢٠
نسبة الألياف (نسبة وزنية %)	٢٠	٤٠	٦٠	٨٠

٢- نماذج الإختبارات الميكانيكية .

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 (٤٥º) .

٢- نماذج إختبار مقاومة الشد (Tensile Specimens) .

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

٣- نماذج إختبار مقاومة الإنضغاط (Compression Specimens) .

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

تم إضافة نسب وزنية مختلفة من ألياف الزجاج (20%,40%,60%) لتصنيع عينات الإختبارات أعلاه وبواقع ثلاث عينات لكل نسبة وزنية وكما موضح في الجدول رقم (٢) وأخذ معدل القراءات لتقليص الإنحراف الحاصل في النتائج إن وجد .

الجدول رقم (٢): تركيب نماذج الإختبارات الميكانيكية

رقم النموذج (القطعة)	النموذج الأول	النموذج الثاني	النموذج الثالث
نسبة الراتنج (نسبة وزنية %)	٨٠	٦٠	٤٠
نسبة الألياف (نسبة وزنية %)	٢٠	٤٠	٦٠

ثالثاً- قياس الموصلية الحرارية (Thermal Conductivity Measurement).

تم استخدام قانون فوريير (*Fourier Law*) في حساب معامل الموصلية الحرارية (k) والذي ينص 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 ($W/m.^oC$)

A = مساحة مقطع انسياب الحرارة وتقاس بالمتر المربع (m^2)

$\left(\Delta T / \Delta X \right)$ = التدرج الحراري نسبة للمسافة ويقاس بوحدات ($^oC/m$)

الشكل رقم (1) يوضح جهاز قياس الموصِلية الحرارية (*Heat Conduction Unit*) والمصنع من قبل شركة (*P.A.Hilton Ltd England*). يعتمد مبدأ عمل هذا الجهاز على تسليط قدرة كهربائية لتسخين العينة الموجودة داخل الجهاز وهي عينة قرصية الشكل . بعد ذلك تقوم محار ير إلكترونية موزعة على جانبي العينة وكل محرار يبعد عن الآخر بمسافة ($10mm$) تقوم بقياس التغير في درجات الحرارة على جانبي العينة .

الشكل رقم (١): جهاز قياس الموصلية الحرارية

رابعاً – الإختبارات الميكانيكية (Mechanical Tests).

تم في هذا البحث إستخدام ثلاثة إختبارات ميكانيكية للتعرف على خواص المادة المركبة تم إجرائها في المعهد التقني – بابل على جهاز الإختبارات العام وهذه الإختبارات هي :

١- إختبار الصدمة (Impact Test) .

أُستخدم جهاز فحص مقاومة الصدمة نوع شاربي (*Charpy Impact Instrument*) للتعرف على مدى مقاومة المادة المركبة لحِمل الصدم . الكاربون .ويمكن حساب مقاومة الصدمة من المعادلة التالية :

$$R = \frac{E}{A}$$

حيث :

R= مقاومة الصدمة (kj/m^2) .

E= الشغل أو الطاقة .

A= مساحة المقطع العرضي لنموذج الإختبار (mm^2) .

٢- إختبار مقاومة الشد (Tensile Test) .

أُستخدم هذا الإختبار لمعرفة خواص المادة المركبة تحت تأثير حِمل شد محوري بإتجاه واحد ، حيث تم إستخدام معدل حِمل (20 KN) . ويمكن حساب مقاومة الشد من القانون الآتي

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

حيث :

σ = مقاومة الشد (N/m^2) .

F = الحِمل المسلط (N) .

A = مساحة المقطع العرضي للنموذج (m^2) .

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

أُعتمدت المواصفة القياسية (ASTM D790) في تصنيع نماذج الإختبار والتي كانت على شكل نماذج مستطيلة بأبعاد ($10mm \times 135mm$) .

VI- النتائج والمناقشة (Results and Discussion) .

١

- نتائج إختبار 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 للمادة المركبة تزداد مع إرتفاع درجة الحرارة وكما موضح في الشكل رقم (٢) والذي

يمثل الموصلية الحرارية للمادة المركبة المكونة من (٨٠%) راتنج و (٢٠%) ألياف . إن هذه الزيادة في الموصلية الحرارية راجعة إلى كون الألياف الزجاجية هي موصل جيد للحرارة .
وعند زيادة نسبة التقوية بالألياف إلى (٤٠%) وإنخفاض نسبة الراتنج إلى (٦٠%) وكما موضح في الشكل رقم (٣) الذي يمثل الموصلية الحرارية للمادة المركبة المكونة من (٦٠%) راتنج و (٤٠%) ألياف حيث تزداد الموصلية الحرارية للمادة المركبة ، وهذه الزيادة في الموصلية متوقعة نظراً لقدرة الألياف على التوصيل الحراري مقارنة بالمادة الراتنجية .
وتزداد هذه الموصلية الحرارية عند زيادة نسبة الألياف إلى(٦٠%) وكما هو مدرج في الشكل رقم (٤) والذي يمثل الموصلية الحرارية للمادة المركبة المكونة من (٤٠%) راتنج و (٦٠%) ألياف والسبب في هذه الزيادة هو وجود نسبة كبيرة من الألياف داخل المادة المركبة والتي تعتبر موصل جيد للحرارة كما ذكرنا سابقاً [F.Rondeaux, 2001].

وبزيادة نسبة التقوية بالألياف إلى (٨٠%) وكما موضح في الشكل رقم (٥) ، تزداد الموصلية الحرارية للمادة المركبة بشكل كبير نتيجة للكسر الحجمي الكبير للألياف الزجاجية داخل هذه المادة والذي يؤدي بالنتيجة إلى زيادة كمية الحرارة المنقولة بواسطة هذه الألياف عبر المادة المركبة .

إن عملية التقوية هذه مفيدة في التطبيقات التي تتطلب توصيل حراري جيد مع خواص ميكانيكية جيدة ولكن عند زيادة نسبة التقوية إلى حد كبير يكون نتيجة ذلك خسارة في الخواص الميكانيكية [F.Rondeaux, 2001]. الشكل رقم (٦) يمثل مقارنة بين نسب التقوية الأربعة .

٢- نتائج الإختبارات الميكانيكية .

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 الإيبوكسي نوع كونبكسترا (EP-10) المقوى بألياف الزجاج ثنائية الإتجاه حصلنا على النتائج الموضحة في المخططات البيانية والتي تُمثل قيم مقاومة الشد ومقاومة الصدمة ومقاومة الإنضغاط نسبة إلى نسبة التقوية بالألياف .

١- مقاومة الصدمة . الشكل رقم (٧) 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 المركبة مما يحسن هذه المقاومة . وهكذا تزداد مقاومة الصدمة مع زيادة نسبة التقوية بالألياف إلى(٤٠%) و (٦٠%) [Ali, 2009].

٢- مقاومة الشد . تعتبر الراتنجات من المواد الهشة حيث مقاومتها للشد منخفضة جداً وهذا ما نراه في الشكل رقم (٨) ، 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 [Ali, 2009].

٣- مقاومة الإنضغاط . إن التقوية المواد الراتنجية بالألياف يؤدي إلى إرتفاع قيم مقاومة الإنضغاط للمادة المركبة الناتجة من هذه التقوية وهذا واضح من خلال الشكل رقم (٩) الذي يمثل إختبار مقاومة الإنضغاط لراتنج الإيبوكسي نوع كونبكسترا (EP-10) المقوى بألياف الزجاج ، حيث مقاومة الإنضغاط ترتفع بشكل حاد عند التسليح بألياف الزجاج نظراً لتوزيع الحِمل على الألياف وكذلك كفاءة الربط بين المادة الأساس وألياف التقوية مما ويرفع قيم مقاومة الإنضغاط . وتزداد مقاومة المادة المركبة للإنضغاط مع زيادة نسبة الألياف المضافة لنفس السبب المذكور أعلاه [Kiichi , 2009].

VII- الإستنتاجات (Conclusions).

من خلال المخططات البيانية التي توضح النتائج التي تم الحصول عليها من إختبار الموصلية الحرارية والإختبارات الميكانيكية نستنتج الآتي :

١- تحسن الموصلية الحرارية لراتنج الإيبوكسي نوع كونبكسترا (EP-10) بعد تقويته بألياف الزجاج بسبب قدرة الألياف للتوصيل الحراري .

٢- زيادة الموصلية الحرارية للمادة المركبة مع زيادة درجة الحرارة والسبب يرجع إلى التقوية بألياف الزجاج والتي تعتبر موصل جيدة للحرارة مقارنة بالمادة الأساس .

٣- إنخفاض قيم الخواص الميكانيكية لراتنج الإيبوكسي نوع كونبكسترا (EP-10) كونه من المواد الهشة كمعظم الراتنجات .

٤- تحسن قيم هذه الخواص الميكانيكية لراتنج الإيبوكسي نوع كونبكسترا (EP-10) بعد تقويته بألياف الزجاج ثنائية الإتجاه لأن الحِمل الأكبر المسلط على المادة المركبة الناتجة سوف تتحمله الألياف . وتتحسن الخواص الميكانيكية مع زيادة نسبة الألياف المضافة .

VIII- المصادر (References).

Ali I.Al-Mosawi, (2009) . " *Study of Some Mechanical Properties for Polymeric Composite Material Reinforced by Fibers* " , Journal of Al-Qadisiya for Engineering Sciences , Vol 2 , No 1 ,pp.14 – 24 .

Autar K. Kaw ,(2006). "*Mechanics of Composite Materials*" , 2nd Edition , Taylor & Francis Group, LLC .

Daniel Gay , Suong V. Hoa , Stephen W. Tsai ,(2003). "*Composite Materials Design and Applications*" , CRC Press LLC .

Dr. Kahtan K.Al-Khazraji , Ali I.Al-Mosawi , (2004) . "*Effect Study of Magnesium Oxide on Thermal Conductivity of Unsaturated Polyester Resin*" , , Journal of Babylon University , Engineering Sciences , Vol 9 , No 5 ,pp.859 – 866 .

F.Rondeaux , ph. Bredy and J.M.Rey,(2001) . "*Thermal Conductivity Measurements of Epoxy Systems at Low Temperature*" , Cryogenic Engineering Conference (CEC), USA, July 16-20 .

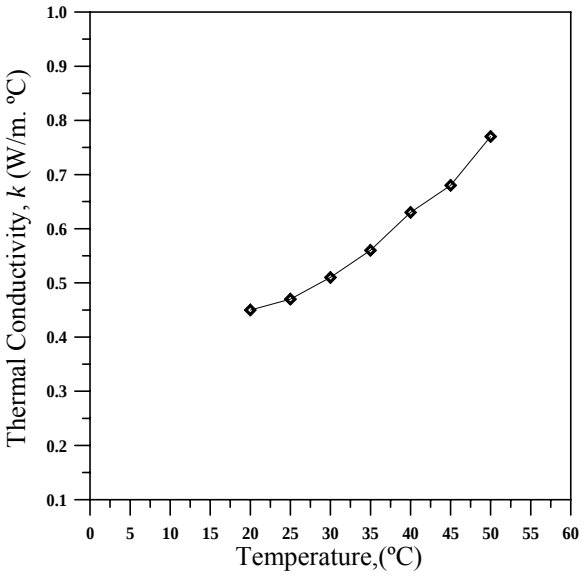
Kiichi Hasegawa[1)], Hiroshi Hirano[1)], Joji Kadota[1)], Masahiro ABE[2)], Satoshi Matsuda[2)], Hajime Kishi[2)] and Atsushi Murakami[2)] , (2009) . " *Properties of GFRP Using Matrix Resin of Epoxy/ Acrylate Interpenetrating Polymer Network* " Journal of the Society of Materials , Vol.54 No.4 , pp.447 – 452 . Science, Japan

Market Report ,(2007) . "*Glass Fibers US Industry Forecasts to 2011 and 2016*", Freedonia publisher .

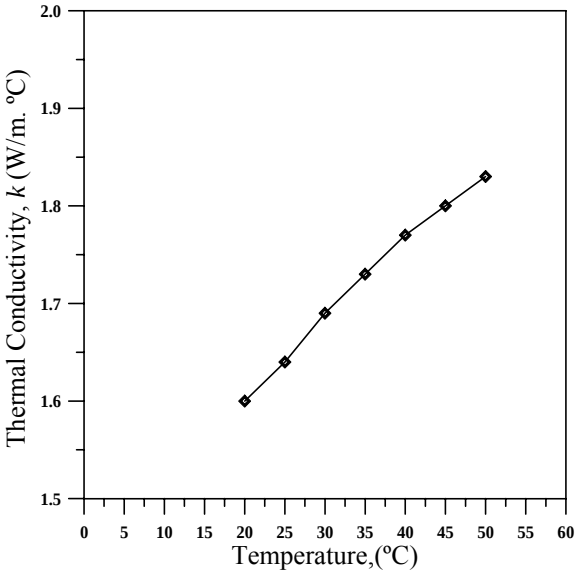
P.K. Mallick ,(2007) . "*Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*", 3rd Edition , CRC Press, Nov .

ساجد عبد الخضر عبد الله ،(٢٠٠٦) . " *تحسين جساءة الإنحناء لمواد متراكبة بوليميرية* " ، رسالة دبلوم عالي ، الكلية التقنية – بغداد ،هيئة التعليم التقني .

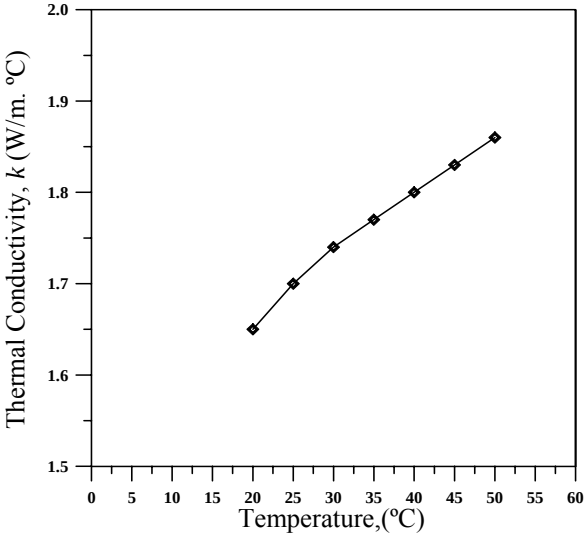
علي إبراهيم مسلم ،(٢٠٠٣) . " *دراسة إستخدام مادة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي كمادة معيقة للهب*"،رسالة ماجستير ، كلية الهندسة ، جامعة بابل .



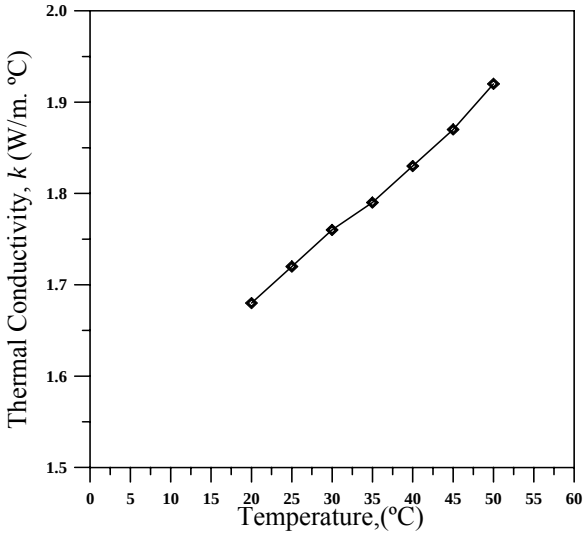
الشكل رقم (٢): الموصلية الحرارية للمادة المركبة (٨٠% راتنج + ٢٠% ألياف) نسبة وزنية



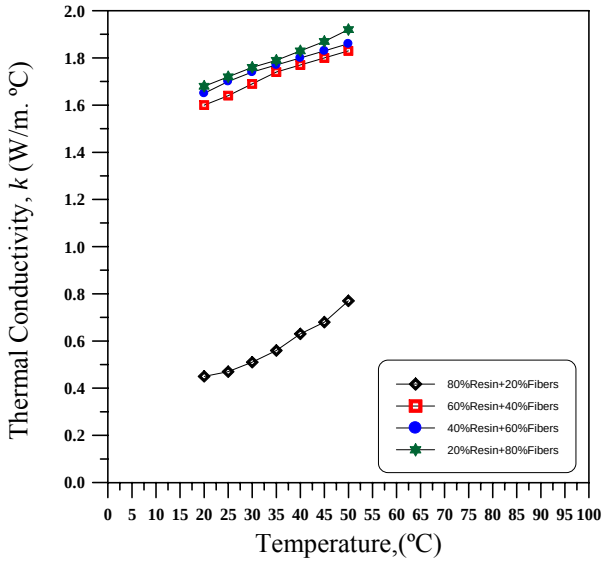
الشكل رقم (٣): الموصلية الحرارية للمادة المركبة (٦٠% راتنج + ٤٠% ألياف) نسبة وزنية



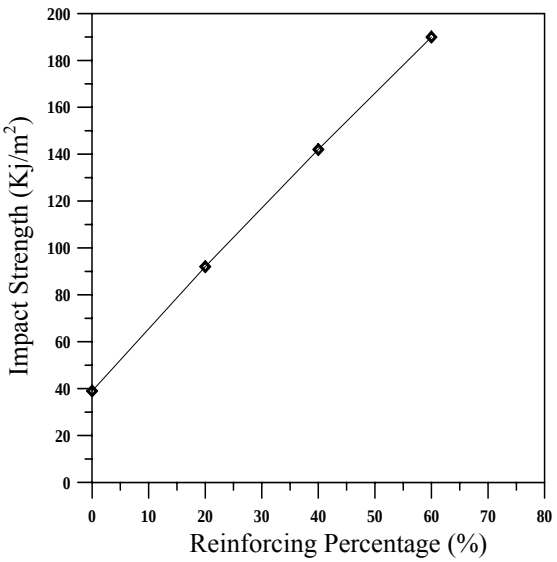
الشكل رقم (٤): الموصلية الحرارية للمادة المركبة (٤٠% راتنج + ٦٠% ألياف) نسبة وزنية



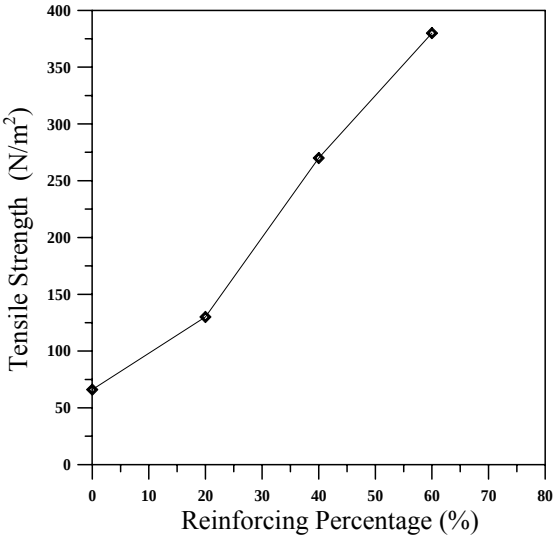
الشكل رقم (٥): الموصلية الحرارية للمادة المركبة (٢٠% راتنج + ٨٠% ألياف) نسبة وزنية



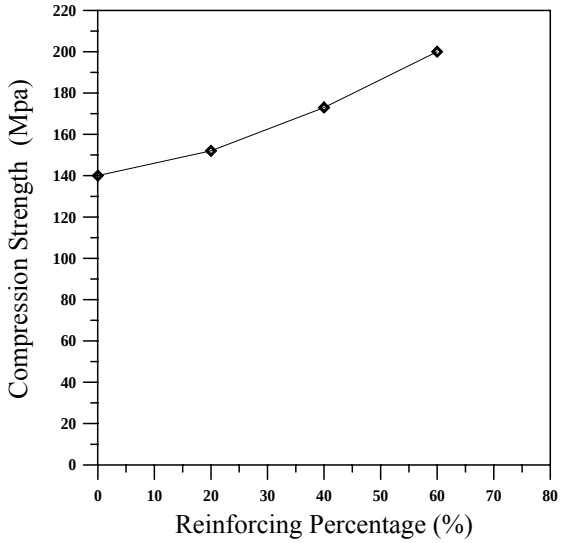
الشكل رقم (6): الموصلية الحرارية لنسب التقوية الأربعة



الشكل رقم (٧) : إختبار مقاومة الصدمة للمادة المركبة



الشكل رقم (٨) : إختبار مقاومة الشد للمادة المركبة



الشكل رقم (٩) : إختبار مقاومة الإنضغاط للمادة المركبة