



تأثير التقوية بدقائق MgO على الصفات الحرارية والميكانيكية لراتنج الإيبوكسي

علي إبراهيم الموسوي
المعهد التقني - بابل
مدرس

الخلاصة .

يهدف البحث الحالي إلى، أولاً: زيادة العزل الحراري لراتنج الإيبوكسي كونبسترا (EP-10) بإضافة أوكسيد المغنيسيوم (MgO) وبحجم حبيبي (5 μm) كحشوة وبنسب وزنية مختلفة (10%، 20%، 30%) إليه ودراسة مدى تأثير هذه الإضافات على العزل الحراري لهذه المادة الراتنجية . تم استخدام معادلة فورير لحساب التغير في قيمة معامل التوصيل الحراري (k) لراتنج الإيبوكسي كونبسترا قبل وبعد إضافة أوكسيد المغنيسيوم إليه، حيث أظهرت النتائج تحسن العزل الحراري للراتنج عن طريق انخفاض قيمة معامل التوصيل الحراري بعد إضافة هذا الأوكسيد ، وتزداد قيمة العزل الحراري مع زيادة نسبة أوكسيد المغنيسيوم المضافة ، إذ تغيرت من (0.24 W/m.°C) قبل إضافة الأوكسيد إلى (0.13 W/m.°C) بعد إضافة (30%) من الأوكسيد عند درجة حرارة (40 °C) وهي أفضل قيمة للأوكسيد المضاف. وثانياً : دراسة السلوك الميكانيكي للراتنج بعد تقويته بالنسب الوزنية أعلاه من أوكسيد المغنيسيوم ودراسة مدى تأثير الخواص الميكانيكية للراتنج بهذا التغير وقد شملت هذه الخواص كل من : مقاومة الصدمة ، مقاومة الشد ، ومقاومة الإنضغاط . أظهرت النتائج تحسن هذه الخواص بعد التقوية بأوكسيد المغنيسيوم وتزداد هذه الخواص بزيادة قيمة هذه الخواص مع زيادة نسبة التقوية . فبالنسبة لمقاومة الصدمة إرتفعت من (30Kj/m²) إلى (39Kj/m²) ومقاومة الشد من (60Mpa) إلى (74Mpa) ومقاومة الإنضغاط من (132Mpa) إلى (146 Mpa) ولنسب التقوية 0 % و 30% من أوكسيد المغنيسيوم على التوالي .

الكلمات الدالة : راتنج الإيبوكسي ، الخواص الحرارية والميكانيكية ، التقوية بالدقائق .

EFFECT OF REINFORCING BY MGO PARTICLES ON THERMAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF EPOXY RESIN

Ali I.Al-Mosawi
Inst. of Technical – Babylon
Lecture

Abstract

This research aims to, first : to increased thermal insulation to conbextra epoxy (EP-10) by additive magnesium oxide (MgO) with (5 μm) particle size as a filler with different Weight percentages (10%,20%,30%) to resin and study the effect of this additive on thermal insulation of the resin . Fourier equation was used to calculate the changing in thermal conductivity coefficient (k) for conbextra epoxy (EP-10) before and after addition of magnesium oxide ,where the results show improved thermal insulation of the resin by reduced in thermal conductivity coefficient value after oxide addition , and the value of thermal insulation will increased with increasing of additive percentage of magnesium oxide ,where it change from(0.24 W/m. $^{\circ}\text{C}$) before added oxide to (0.13 W/m. $^{\circ}\text{C}$) after addition (30%) from oxide at temperature (40 $^{\circ}\text{C}$) which the best value from oxide additive . The second : to study the mechanical behavior of the resin after reinforced it by the above weight percentage of magnesium oxide and studied its effect on mechanical properties of the resin which included : impact strength , tensile strength , and compression strength . It has shown an improvement in these mechanical properties after reinforcement by magnesium oxide where the value of mechanical properties will increase with increasing percentage of reinforcement. Impact strength increased from(30Kj/m 2) to (39Kj/m 2) , and tensile strength from(60Mpa)to (74Mpa), and compression strength from(132Mpa)to (146 Mpa), for reinforcing percentages 0% and 30% from magnesium oxide respectively .

Keywords: epoxy resin, thermal and mechanical properties , reinforced by particles.

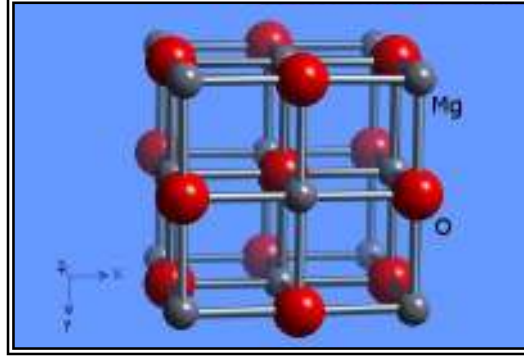
. (Introduction) المقدمة

يمكن أن تضاف المواد العازلة إلى المواد الراتنجية على شكل الحشوات (Fillers) والتي يمكن تعريفها على إنها مواد معدنية أولاً معدنية تضاف إلى المواد الراتنجية بنسب مختلفة لتغيير خواصها والحصول على خواص جديدة ومن الخواص التي يتطلب تغييرها وحسب الحاجة هي المقاومة، الجساءة، المتانة، المقاومة الحرارية والكهربائية وغيرها من الخواص أو تضاف بشكل طبقة طلاء (Coating) لخفض الموصلية الحرارية في درجات الحرارة العالية نسبياً [Joshi fumi,2001] . من المواد التي تستخدم كحشوات هو أكسيد المغنيسيوم (MgO) والذي يمكن الحصول عليه من الدولومايت (Dolomite) ، سليكات المغنيسيوم الممياة (Talc) ، وكاربونات المغنيسيوم (Magnesium Carbonate). يمتلك أكسيد المغنيسيوم تركيب بلوري مكعب (Cubic Crystal Structure) ويكون أبيض اللون .

يستخدم أكسيد المغنيسيوم في المواد الحرارية والعوازل بسبب درجة إنصهاره العالية ، إضافة إلى كونه يمتاز بتمدده المنخفض ومقاومته للتشقق لذلك فإنه يستخدم في بطانة أفران المعادن والزجاج وكذلك يستخدم في صناعة الطبقات العاكسة في الأجهزة البصرية وفي أشباه الموصلات [DeGarmo,2008] . الجدول رقم (1) يوضح خواص بعض أكسيد المغنيسيوم ، أما الشكل رقم (1) فيوضح تركيبه الكيميائي .

الجدول رقم (1) : بعض خواص أكسيد المغنيسيوم [Cotton,1999]

Property	Melting Point , °C	Boiling Point , °C	Density , g/cm ³
Value	2800	3600	1.8



الشكل رقم (1): التركيب الكيميائي لأوكسيد المغنيسيوم [Cotton,1999]

تختلف آلية التوصيل الحراري من مادة إلى أخرى وحسب حالة المادة (صلبة، سائلة، غازية) والذي من خلاله تُصنف المادة على إنها مُوصلة أو عازلة. تعتمد المُوصلية الحرارية في الراتنجات على عدة عوامل هي : توجيه الجزيئات ، الحجم البلوري ، ودرجة النقاوة. في المواد غير المعدنية ومن ضمنها الراتنجات التي يكون إنتقال الإلكترونات فيها ضعيفاً (وهو أحد أساليب إنتقال الحرارة) أو لا يكون هناك إنتقال إلكتروني لذلك فإن التوصيل الحراري يتحدد بالإهتزازات الهيكلية (Structure Vibration) وهذا السبب هو الذي يجعل من المواد الراتنجية أقل توصيلاً للحرارة من المعادن [Ali,2003]. 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 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 [Halem,1999].

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) [Michel,2007].

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 وقابلية إلتصاق عالية وتكسب المادة صلادة وقوة ، لذلك يستعمل في التطبيقات التي تتطلب إداءً وظيفياً عالياً. تتفاعل هذه الراتنجات مع المصلدات أثناء المعالجة ويكون التفاعل غير مصحوب بإنبعاث الماء أو تحرر أي منتجات ثانوية مما يجعل النقل الحجمي قليل جداً (أقل من 2%) 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 [Michel,2007].

الجزء العملي (Experimental Work)

يتضمن الجزء العملي على ما يلي :

أولاً- المواد المستخدمة في البحث .

تم في هذا البحث استخدام المواد التالية :

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

تم استخدام المصلد (Metaphenylene Diamic) الذي يضاف إلى الراتنج بنسبة [3:1] ويحدث التفاعل معهما في درجة حرارة الغرفة . هذا الراتنج مجهز من قبل شركة (BASF Aktiengesellschaft) .

2- أوكسيد المغنيسيوم (Magnesium Oxide): تم استخدام أوكسيد المغنيسيوم والذي يعتبر من الأكاسيد السيراميكية كمادة عازلة وبحجم حبيبي ($5\ \mu\text{m}$) وقد تم إجراء الفحص الكيميائي عليه في كلية العلوم /جامعة بغداد بواسطة (X-Ray Fluorescent) وكانت نقاوته (99.5%) . هذا الأوكسيد مجهز من قبل شركة (BDH Chemical Ltd Pool England)

ثانياً- تحضير نماذج إختبار الموصلية الحرارية .

تكون هذه النماذج بقطر (25mm) وسمك (3mm) وهي تحضر كالاتي : يتم خلط كمية من راتنج الإيبوكسي نوع كونبكسترا بالمادة المصلدة ثم تم إضافة أوكسيد المغنيسيوم إلى الخليط بنسب وزنية مختلفة (10%، 20%، 30%) ويخلط هذا المزيج جيداً ثم يصب في القالب وتترك في القالب لتتصلب بشكل نهائي لمدة (24) ساعة ، بعدها تستخرج من القالب وتوضع في فرن درجة حرارته (75°C) ولمدة ساعتين لإكمال التصلب.

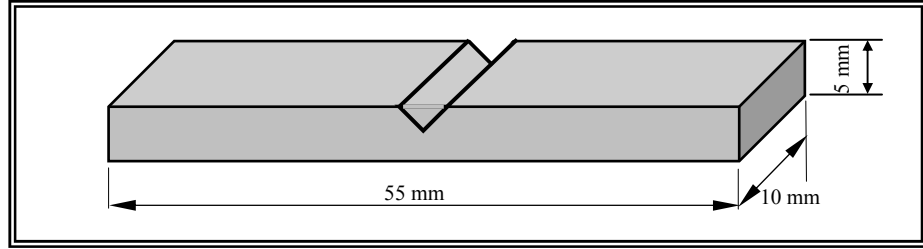
ثالثاً- تحضير نماذج الإختبارات الميكانيكية (Test Specimens Preparation) .

تم في هذا البحث تصنيع ثلاثة أنواع من النماذج خاصة بالإختبارات التي تم إجرائها وهي :

1- نماذج إختبار الصدمة (Impact Specimens) .

تم تصنيع نماذج إختبار الصدمة حسب المواصفات القياسية (ASTM-E23) والموضحة في الشكل رقم (2) 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 (45°) [Halem,1999]. أستخدم جهاز فحص مقاومة الصدمة نوع شاربي المصنع من شركة (Tokyo Koki

Seizosho,Ltd) للتعرف على مدى مقاومة المادة المتراكبة لحمل الصدم .



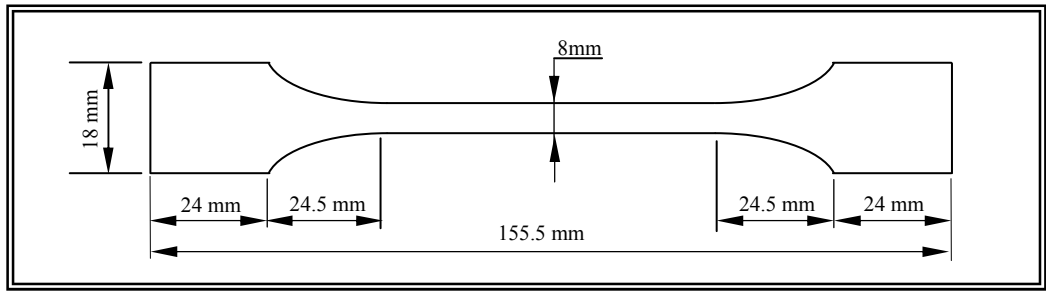
الشكل رقم (2) : نموذج إختبار مقاومة الصدمة

2- نماذج إختبار مقاومة الشد (Tensile Specimens) .

تم إعتماد المواصفة القياسية (ISO-R-527) في تصنيع نماذج إختبار مقاومة الشد والموضحة في الشكل رقم (3) [Halem,1999]. أستخدم هذا الإختبار لمعرفة خواص المادة المتراكبة تحت تأثير

حمل شد محوري بإتجاه واحد ، إستخدم جهاز الإختبارات العام المصنع من شركة (ZheJiang

TuGong Instrument Co.,Ltd) في قياس هذه الخاصية وبمعدل حمل (20 KN) .



الشكل رقم (3) : نموذج إختبار مقاومة الشد

3- نماذج إختبار مقاومة الإنضغاط (Compression Specimens) .

تم تصنيع نماذج إختبار مقاومة الإنضغاط حسب المواصفة (ASTM-D618) وهي بشكل منشور رياضي . إستخدم مكبس هيدروليكي نوع (Leybold Harris No.36110) لتعيين أقصى حمل إنضغاط يتحمله النموذج ويقسمه هذا الحمل على مساحة مقطع النموذج قبل التشوه تم إحتساب مقاومة الإنضغاط للنماذج كافة [Halem,1999].

رابعاً- قياس الموصلية الحرارية (Thermal Conductivity Measurement)

يمكن إستخدام قانون فورير (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 بوحدة (W)

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

A = مساحة مقطع إنسياب الحرارة وتقاس بوحدة (m²)

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

الشكل رقم (4) يوضح جهاز قياس الموصلية الحرارية (Heat Conduction Unit) والمصنع من قبل شركة (P.A.Hilton Ltd England) .



الشكل رقم (4) : جهاز قياس الموصلية الحرارية

النتائج والمناقشة (Results and Discussion)

تعتمد الموصلية الحرارية في الراتنجات على عوامل عديدة منها : توجيه الجزيئات ، الحجم البلوري ، ودرجة النقاوة . إن الراتنجات لا تحتوي على إلكترونات حرة والتي تساعد على حمل الحرارة وانتقالها لذلك تعتمد في التوصيل الحراري على الإهتزازات الهيكلية (Structure Vibrations)

في بنيتها الداخلية حيث كلما ارتفعت درجة الحرارة زادت الإهتزازات الهيكلية مما يسبب موصلية أكثر للحرارة وهذا ما نلاحظه في الشكل رقم (5) والذي يمثل الموصلية الحرارية لراتنج الإيبوكسي كونيسترا (EP-10) ، حيث تبدأ الموصلية بالارتفاع مع زيادة درجة الحرارة ويرجع السبب في ذلك كما ذكرنا إلى الإهتزازات في الهيكل الداخلي للراتنج التي تزداد بارتفاع درجة الحرارة [Kahtan, Ali,2004].

إن هذه الإهتزازات تبدأ بالإنخفاض عند إضافة الحشوات إلى الراتنج والتي تعمل على إعاقة الإهتزاز وبالتالي إنخفاض قيمة الموصلية الحرارية وهذا واضح في الشكل رقم (6) والذي يمثل الموصلية الحرارية لراتنج الإيبوكسي كونيسترا (EP-10) مضافاً إليه (10%) أكسيد المغنيسيوم ، حيث تزداد نسبة العزل الحراري نتيجة لإعاقة الإهتزاز الهيكلية الداخلي من قبل الأكسيد ، إضافة إلى إن أكسيد المغنيسيوم رديء التوصيل للحرارة نظراً لكونه من الأكاسيد السيراميكية [P. L. Teh,2008].

وتزداد قيمة العزل الحراري ونسبة إعاقة الإهتزازات مع زيادة نسبة أكسيد المغنيسيوم المضافة وكما هو واضح من الشكل رقم (7) والذي يمثل الموصلية الحرارية لراتنج الإيبوكسي كونيسترا (EP-10) مضافاً إليه (20%) أكسيد المغنيسيوم ، إذ تزداد العوائق لانتقال الحرارة مع زيادة دقائق أكسيد المغنيسيوم [Bogomolov,2003]. إن هذا السلوك يستمر مع زيادة نسبة أكسيد المغنيسيوم المضافة وكما في الشكل رقم (8) والذي يمثل الموصلية الحرارية لراتنج الإيبوكسي كونيسترا (EP-10) مضافاً إليه (30%) من مادة أكسيد المغنيسيوم. الشكل رقم (9) والذي يمثل مقارنة بين نسب التقوية الثلاث .

الشكل رقم (10) يوضح تغير قيم مقاومة الصدمة مع نسبة دقائق أكسيد المغنيسيوم المضافة، حيث تعتبر مقاومة الصدمة بشكل عام منخفضة للراتنجات نظراً لهشاشتها ولكن بعد تقويتها بالدقائق تزداد قيمة مقاومة الصدمة ويرجع السبب في ذلك إلى كون الدقائق سوف تتحمل الجزء الأكبر من طاقة الصدم المسلطة على المادة المركبة مما يحسن هذه المقاومة ، وتزداد مقاومة الصدمة مع زيادة نسبة التقوية بالدقائق [Shaima, 2009].

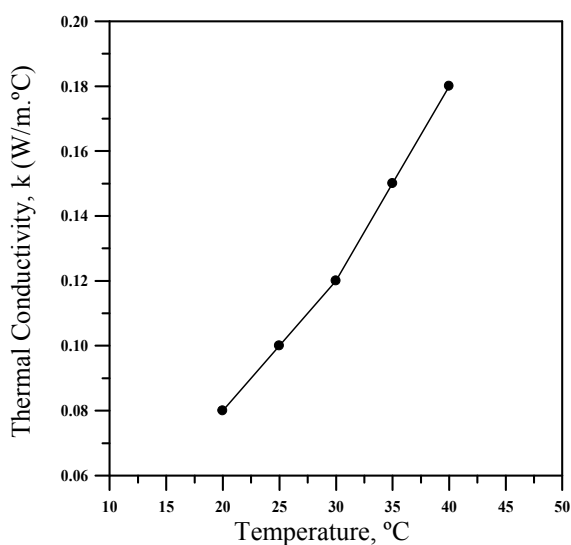
تعتبر الراتنجات من المواد الهشة حيث مقاومتها للشد منخفضة جداً وهذا ما نراه في الشكل رقم (11) ، ولكن عند إضافة دقائق أكسيد المغنيسيوم إلى هذه المواد تتحسن مقاومتها للشد بصورة كبيرة حيث إن الجزء الأعظم من الجهد المسلط تتحمله هذه الدقائق مما يرفع مقاومة الشد للمادة المركبة الناتجة ، وتزداد مقاومة الشد بزيادة نسبة الدقائق المضافة حيث تشغل دقائق أكسيد المغنيسيوم حيز أكبر داخل الراتنج مما يسمح بتوزيع الحمل المسلط عليها بشكل أفضل [P. L. Teh,2008].

إن تقوية الراتنجات بالدقائق يؤدي إلى إرتفاع قيم مقاومة الإنضغاط للمادة المركبة الناتجة من هذه التقوية وهذا واضح من خلال الشكل رقم (12) الذي يمثل إختبار مقاومة الإنضغاط لراتنج الإيبوكسي نوع كونبكسترا (EP-10) قبل وبعد التقوية بدقائق أوكسيد المغنيسيوم ، حيث مقاومة الإنضغاط ترتفع بشكل حاد عند التقوية بدقائق الأوكسيد نظراً لتوزيع الحبل على الدقائق وكذلك كفاءة الربط بين المادة الأساس ودقائق التقوية مما ويرفع قيم مقاومة الإنضغاط . وتزداد مقاومة المادة المركبة للإنضغاط مع زيادة نسبة الدقائق المضافة لنفس السبب المذكور أعلاه [P. L. Teh, 2008]

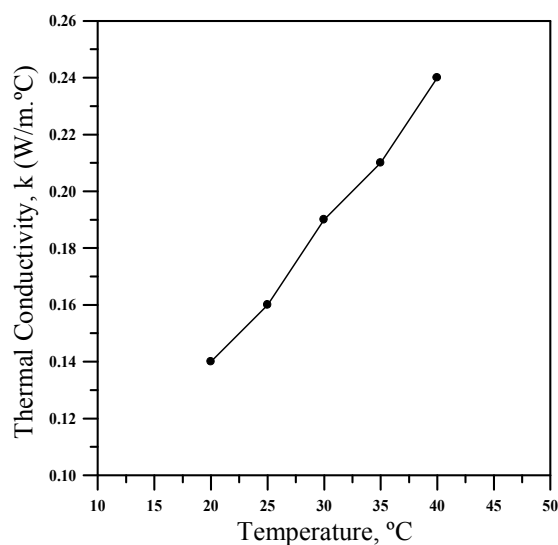
الاستنتاجات (Conclusions)

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها من إختبار الموصلية الحرارية والإختبارات الميكانيكية المطبقة على راتنج الإيبوكسي كونبكسترا (EP-10) قبل إضافة أوكسيد المغنيسيوم إليه وبعدها تم التوصل إلى عدة إستنتاجات هي :

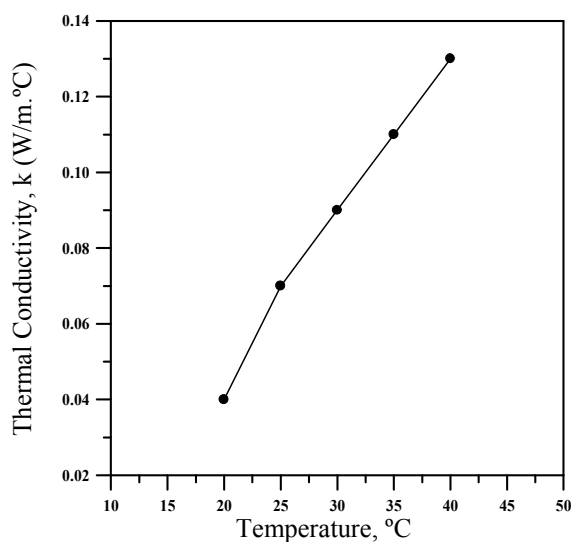
- 1- زيادة قيمة معامل التوصيل الحراري لراتنج الإيبوكسي كونبكسترا (EP-10) مع زيادة درجة الحرارة .
 - 2- إنخفاض معامل التوصيل الحراري مع تحسن العزل الحراري للراتنج بإضافة أوكسيد المغنيسيوم إليه ، إذ تغيرت من $(0.24 \text{ W/m}^\circ\text{C})$ قبل إضافة الأوكسيد إلى $(0.13 \text{ W/m}^\circ\text{C})$ بعد إضافة (30%) من الأوكسيد عند درجة حرارة (40°C) وهي أفضل قيمة للعزل الحراري .
 - 3- إنخفاض قيم الخواص الميكانيكية لراتنج الإيبوكسي نوع كونبكسترا (EP-10) .
 - 4- تحسن قيم هذه الخواص الميكانيكية لراتنج الإيبوكسي نوع كونبكسترا (EP-10) بعد تقويته بدقائق أوكسيد المغنيسيوم وتحسن الخواص الميكانيكية مع زيادة نسبة الدقائق المضافة .
- فبالنسبة لمقاومة الصدمة إرتفعت من (30 KJ/m^2) إلى (39 KJ/m^2) ومقاومة الشد من (60 Mpa) إلى (74 Mpa) ومقاومة الإنضغاط من (132 Mpa) إلى (146 Mpa) ولنسب التقوية 0% و 30% من أوكسيد المغنيسيوم على التوالي .



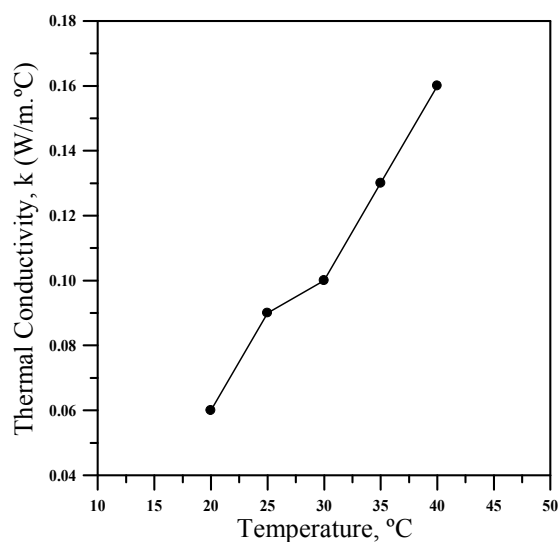
الشكل رقم (6) : 10% أوكسيد المغنيسيوم



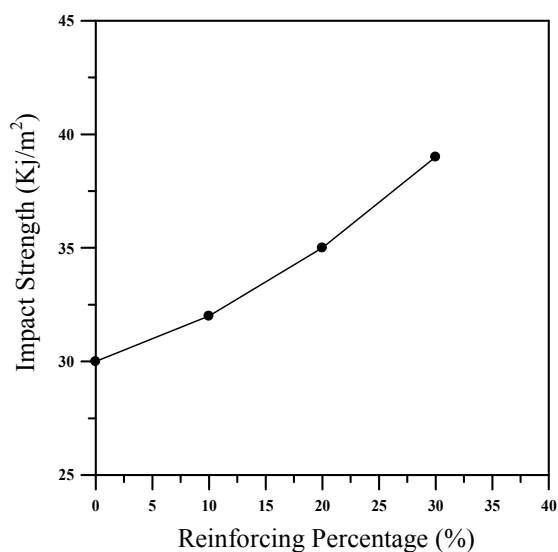
الشكل رقم (5) : الموصلية الحرارية لراتنج الإيبوكسي



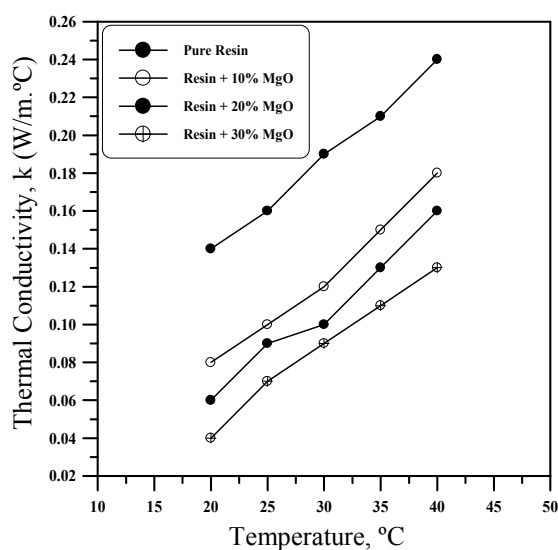
الشكل رقم (8) : 30% أوكسيد المغنيسيوم



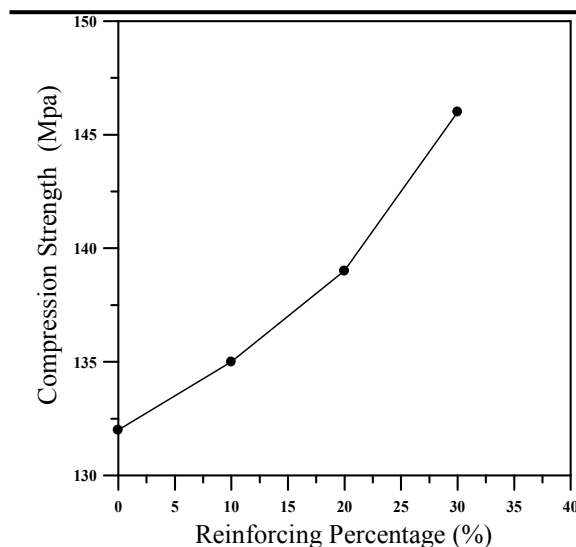
الشكل رقم (7) : 20% أوكسيد المغنيسيوم



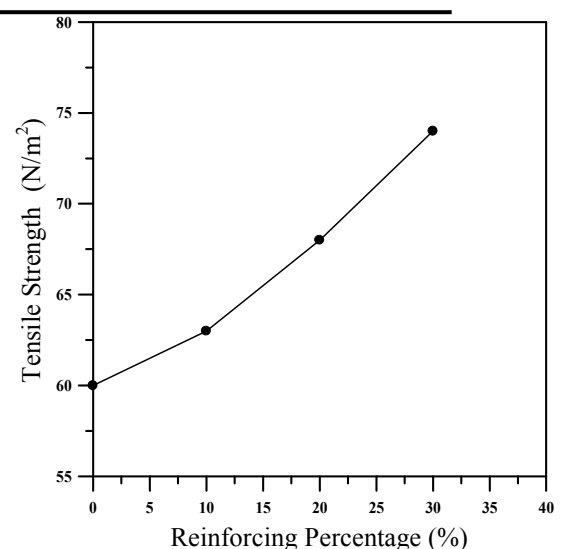
الشكل رقم (10) : مقاومة الصدمة



الشكل رقم (9) : مقارنة بين قيم التقوية الثلاث



الشكل رقم (12) : مقاومة الإنضغاط



الشكل رقم (11) : مقاومة الشد

المصادر (References)

- 1- Joshifumi Sugama and Keith Gawlik “ Filler Materials for Polyphenylenesulphide Composite Coatings ”, Conference, California, August , 2001.
- 2- E.P.DeGarmo, J.T. Black, and R.A. kohser “ Materials and processes in Manufacturing ”, 10th Edition , john Wiley & Sons , 2008 .
- 3- F.A.Cotton, G.Wilkinson, C.A.Murillo, and M. Bochmann “ Advanced Inorganic Chemistry ”, john Wiley & Sons , 1999 .
- 4- Ali Ibrahim Moslem “ Study Using of Antimony Trioxide Material as a Flame Retardant Material ”, MSC Thesis , Babylon University , Iraq , 2003 .
- 5- Halem, Ali Hoby “ Improvement Properties of Reinforced Plastic Materials ”, MSC Thesis , Engineering College , Babylon University , Iraq ,1999.
- 6- Michel Biron “ [Thermoplastics and Thermoplastic Composites](#) ” , 1st Edition , Elsevier , 2007 .
- 7- Kahtan K.Al-Khazraji , Ali I.Al-Mosawi “Effect Study of Magnesium Oxide on Thermal Conductivity of Unsaturated Polyester Resin” , Journal of Babylon University , Engineering Sciences , Vol 9 , No 5 , pp.867 – 876, 2004.
- 8- P. L. Teh, M. Jaafar, H. M. Akil, K. N. Seetharamu, A. N. R. Wagiman, K. S. Beh, “Thermal and mechanical properties of particulate fillers filled epoxy composites for electronic packaging application ”, Polymers for Advanced Technologies, Volume 19, Issue 4 ,PP. 308-315 , 2008 .
- 9- 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.

-
- 10- Shaima j. Karim, Sundos A. Jasem, Hanin Z. Naji “Studying of Thermal Conductivity and Impact Strength for Unsaturated Polyester Material Reinforced by Aluminum Particles” , The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering, Special Issue (A) ,1st Conference of Engineering College , Babylon University .pp.83 – 94, 2009.