

دراسة بعض الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للإيبوكسي المدعم بالألياف

حياة خلف حميد

قسم الفيزياء / كلية ابن الهيثم للعلوم الصرفة/ جامعة بغداد

استلم البحث في: 14 نيسان 2004، قبل البحث في: 22 حزيران 2014

الخلاصة

تم في هذا البحث تحضير مواد متراكبة هجينة ذات أساس بوليمري بطريقة الصب اليدوي، حضرت المواد المتراكبة من راتنج الإيبوكسي EP مادة أساس مدعمة بألياف الجوت الحصرية كسر حجمي ثابت (13%)، وألياف PVC والألياف الزجاجية الحصرية بكسور حجمية مختلفة. وتضمن البحث دراسة تأثير الكسور الحجمية (7%, 12%, 17%) لألياف PVC وألياف الزجاج في خصائص المواد المتراكبة المحضرة، أجريت بعض الاختبارات الميكانيكية عند درجة حرارة الغرفة (اختبار الصدمة، اختبار الانحناء) وأظهرت النتائج أن قيمة (معامل مرونة الانحناء ومثانة الكسر) تزداد مع زيادة الكسر الحجمي للألياف، وكذلك أجريت مجموعة من الاختبارات الفيزيائية (اختبار الموصلية الحرارية واختبار ثابت العزل)، وأظهرت نتائج البحث أن عند زيادة الكسر الحجمي تزداد الموصلية الحرارية وثابت العزل الكهربائي

الكلمات المفتاحية: راتنج الإيبوكسي، بوليمر، تدعيم

المقدمة

اهتم العديد من الباحثين بدراسة الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للمواد المتراكبة بينها مقاومة الصدمة والانحناء والموصلية الحرارية والعزل الكهربائي لما لها من أهمية بالغة في تحديد نوعية المادة الملائمة للتطبيقات الصناعية المختلفة، إذ أجريت الدراسة من الباحث (Mohamad) [1] في عام 2008 حول دراسة تأثير الكسر الحتمي لألياف الزجاج وينسب مختلفاً للمادة المتراكبة، إذ صنعت العينات من مادة البولي استر غير المشبع المدعم بألياف الزجاج، إذ صنعت العينات من مجموعتين: المجموعة الأولى كانت فيها ألياف الزجاج مرتبة بشكل يوازي للانسحاب الحراري. استخدمت طريقة قرص لي (Lee disk) في فحص العينات وأثبتت النتائج أن الترتيب الموازي للألياف يعطي لموصلية الحرارية أكبر للمادة المتراكبة، إذ تزداد مع زيادة الكسر الحتمي للألياف. وفي عام 2008 قام الباحث (Ali) [2] بتحضير مواد مركبة لتكوين مادة مركبة هجينة مع مقارنة معامل المرونة ومثانة المادة هو مثانة الكسر للمواد المركبة مع راتنج وسوية لتكوين مادة مركبة هجينة مع مقارنة معامل المرونة ومثانة المادة هو مثانة الكسر للمواد المركبة مع راتنج الإيبوكسي غير المدعم وذلك لملاحظة تأثير عملية التدعيم في خواص المواد المركبة عند درجات حرارية مختلفة (0, 25, 40, 60) ، وقد كانت نسبة الكسر الحتمي لألياف التدعيم للنماذج المدعمة بألياف الزجاج والمدعمة بألياف الجوت هي (30%)، (15%) ألياف الجوت للمواد المتراكبة الهجينة. أظهرت النتائج أن الخواص الميكانيكية للإيبوكسي المدعم بألياف الجوت أعلى بكثير من الأيبوكسي غير المدعم، لكنه في الوقت نفسه أقل من الإيبوكسي المدعم بألياف الزجاج.

1- اختبار الانحناء (Bending Test): تعرف المرونة مقدرة المادة على الانحناء تحت الحمل المسلط، إذ إن المرونة تمثل إحدى أهم الخواص التي تتمتع بها البوليمرات من غيرها من المواد سواء أكانت مطاوعة أم متصلدة حرارياً. وكذلك تعرف المرونة بأنها قابلية المادة على الحمل. التشوه المرن دون ضعف أو تحطم هي ميزة مهمة جداً تعتمد عليها الكثير من التطبيقات مثل العجلات المسننة والطائرات والسفن. كذلك يمكن تعريف مقاومة الانحناء بأنها قدرة المادة على مقاومة الفشل، وأن معامل المرونة للمواد المتراكبة تتأثر بعدد من العوامل (نسق واتجاهية الجزئية للمراكبات معامل مرونة الألياف المدعمة) [3].

لحساب مثانة الانحناء يمكن اعتماد طريقتين: الطريقة الأولى اختبار الثلاثي النقطة، والآخر اختبار الرباعي النقطة. ولقد استعمل اختبار الثلاثي النقطة لسهولة في حساب مثانة الانحناء. فعند تسليط حمل بالاتجاه العمودي على مركز العينة الموضوعة تحت الاختبار تحدث انحناء لها تحت تأثير قوى الشد والانضغاط، وباستعمال هذا الاختبار يمكن حساب معامل مرونة (E) من المعادلة [4]:

$$E = \frac{L^3}{48I} \times (m) \dots (1)$$

إذ إن:

(m) ميل الخط المستقيم (Mass-Deflection)، (L) المسافة بين نقطتي الارتكاز (m)، (I) يمثل عزم الانحناء الهندسي (m⁴) الذي يعطى بالمعادلة الآتية [5]:

$$I = \frac{bd^3}{12} \dots \dots \dots (2)$$

إذ إن:

(b) عرض الأنموذج (m)، (d) سمك الأنموذج (m)
2- اختبار الصدمة (Impact test): عند تعرض المادة لحمل مفاجئ (حمل حركي) أي بمعدل انفعال عالٍ فإنها ستسلك سلوكاً يختلف عن سلوكها عند تعرضها لحمل ساكن، فقد تسلك المادة سلوكاً مطلياً عند تعرضها لحمل مسلط (اختبار الشد، اختبار الانحناء) ولكن عند تعرضه لحمل حركي (اختبار الصدمة) قد تسلك سلوكاً هشاً، ويمكن الحصول من اختبار الصدمة على الآتي:

(1) مقاومة الصدمة (Impact strength): وتستخرج قيمتها من العلاقة الآتية [5]:

$$G_c = \frac{U_c}{A} \dots (3)$$

إذ إن:

(G_c) مقاومة الصدمة للمادة (J/m²)، U_c طاقة الصدمة (J)، A مساحة المقطع العرضي للعينة (m²)
(2) مثانة الكسر للمادة (Fracture toughness): ويمكن الحصول عليها من تطبيق العلاقة الآتية [5]:

$$K_c = \sqrt{G_c E} \dots (4)$$

إذ إن:

(K_c) مثانة الكسر للمادة (MPa.m^{0.5})، (G_c) مقاومة الصدمة للمادة (J/m²)، (E) معامل المرونة للمادة (MPa)
(3) اختبار الموصلية الحرارية (Thermal conductivity): الموصلية الحرارية لمادة ما يمكن أن تعرف على أنها مقياس لقابلية المادة لتوصيل الحرارة. ففي المواد العازلة مثل البوليمرات تنتقل عبرها بألية مختلفة بموجات مرنة (Elastic waves) ناتجة من تذبذب الجزيئات التي تنقل هذه الذبذبة إلى الجزيئات التي تجاورها نتيجة لارتباطها بالأواصر [6]، إذ يمكن حساب الموصلية الحرارية باستخدام قرص لي (Lee disk) وذلك باستخدام المعادلتين الآتيتين [7]:

$$K \left[\frac{T_B - T_A}{d_s} \right] = e \left[T_A + \frac{2}{r} \left(d_A + \frac{1}{4} d_s \right) T_A + \frac{1}{2r} d_s T_B \right] \dots (5)$$

إذ إن:

(e) تمثل كمية الطاقة الحرارية المارة عبر وحدة مساحة مادة القرص لكل ثانية (W/M².C⁰) وتحسب من العلاقة

الآتية:

$$I_v = \pi r^2 e (T_A + T_B) + 2\pi r e \left[d_A \times T_A + d_s \frac{1}{2} (T_A + T_B) + d_B \times T_B + d_c T_c \right] \dots (6)$$

(T_A, T_B, T_C) تمثل درجة حرارة القرص (A, B, C) على التوالي وتقاس بوحدة (°C)، (d_s) سمك القرص (mm)، (r) نصف قطر القرص (mm)، (I) التيار المار (Amper)، (V) الفولتية المجهزة (Volt).

(4) اختبار ثابت العزل الكهربائي (Dielectric constant): لقياس ثابت العزل الكهربائي، تم استخدام جهاز من نوع (Ley Bold Heraeus) المصنع في ألمانيا وهو من صفيحتي متسعة ذات شكل دائري مثبت على قاعدة استناد، وأحد هذين القرصين مربوط على مسطرة مدرجة لقياس سمك العينة الموضوعية بين هاتين الصفيحتين وتتكون أيضاً من ملف ومقاومة وأميتر ومجهز قدرة تربط هذه المكونات بدائرة كهربائية. يتم تغيير تردد المصدر الهواء لعازل بين صفحتي المتسعة إلى أن نحصل على التردد الرنيني (أي التيار يسجل أعلى قيمة له) نعوض عن قيمة التردد الرنيني (f_r) في المعادلة الآتية لاستخراج قيمة C بوجود الهواء [8].

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f_r L} \dots (7)$$

(f_r) التردد الرنيني (Hz)، (L) حثية الملف (H)، (C) سعة المتسعة (colulombs/volt) بعدها نعوض عن قيمة C في المعادلة الآتية لاستخراج قيمة سماحية (ε_o) الفراغ [8]

$$C = \epsilon_o \frac{A}{d} \dots (8)$$

إذ إن:

(A) المساحة لكل صفيحة (m)، (d) المسافة بين الصفيحتين (m)، (r) نصف قطر الصفيحة (m). وبالطريقة السابقة نفسها نستخرج قيمة سماحية المادة العازلة المعبر عنها بالمعادلة الآتية [8]:

$$\bar{C} = \epsilon \frac{A}{d} \dots (9)$$

(ε) سماحية المادة العازلة. وبقسمة سماحية المادة العازلة إلى سماحية الفراغ (ε_o) نحصل على ثبات العزل الكهربائي [8]:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_o} \dots (10)$$

الجانب العملي

1- المواد المستعملة

المادة الأساس المستعملة في هذا البحث هي راتنج الأيبوكسي نوع (Thortex) المحتوى على مجاميع الأيبوكسايد (Epoxydes)، يتمتع الأيبوكسي الذي يرمز له (EP) المستعمل في هذا البحث بخواص تميزه من باقي الأنواع وهي لزوجيته الواطئة التي تسمح بخلطه مع مواد التدعيم بصورة جيدة لحين الوصول إلى التشبع التام ما بين المادة الأساس ومادة التدعيم، كذلك فهو يمتلك خاصية التصاق عالية، فضلاً عن عدم حدوث انكماش بعد صب القالب وتصلبه، أما المصلد المستعمل فهو ميتا فينلين داي امين MPDA فهو مادة سائلة خفيفة القوام ذات لون شفاف. يضاف المصلد إلى الراتنج بنسبة (3:1) ويحدث بينهما التفاعل عند درجة حرارة الغرفة. أما مواد التدعيم المستعملة في هذا البحث فهي ثلاثة أنواع من الألياف وهي ألياف زجاجية (E-glass) التي تمتلك كثافة مقدارها (2600 kg/m²) وألياف الجوت (Jute كثافتها 1040 kg/m²) وألياف PVC كثافتها (1390 kg/m²). أما شكل هذه الألياف فتكون بهيئة حصيرة (woven roving) باتجاه (0→90°).

2- تحضير العينات:

اتبعت تقنية القولبة اليدوية في تحضير العينات في هذه المرحلة، إذ تم تهيئة قالب خاص لعملية الصب مصنوع من الحديد المغلوق وبأبعاد (25cm×25cm). وبعد تهيئة القالب أجريت له عملية تنظيف دقيقة ثم تبعتها عملية تجفيف، ثم بعد ذلك ولضمان عدم التصاق الراتنج على القالب بوصفه مادة عازلة أصبح القالب جاهزاً لعملية الصب، وصنعت مواد متراكبة من الأيبوكسي المدعم بالألياف الجوت بكسر حجمي ثابت (13%) مع ألياف PVC وألياف الزجاج معاً ذات كسور حجمية مختلفة (7%, 12%, 17%) أي أن نسب ألياف PVC وألياف E-glass متساوية أي الكسر الحجمي (7%) تكون نسبة PVC (3,5%) و E-glass (3,5%) وكذلك بالنسبة للكسور الحجمية المتبقية وتترتب الألياف في القالب بنظام طبائقي متعاقب (E-glass-PVC-Jut-PVC-E-glass) إذ صنعت هذه المواد المتراكبة ذات الكسور الحجمية المختلفة من خلال العلاقات [9].

$$\psi = \frac{W_f}{W_c} \times 100\% \dots (11)$$

$$W_c = W_f + W_M \dots (12)$$

$$\phi = \frac{1}{1 + \frac{1-\psi \cdot \rho_f}{\psi \cdot \rho_m}} \dots (13)$$

إذ إن:

(ψ) الكسر الوزني لمادة التدعيم، (ϕ) الكسر الحجمي لمادة التدعيم، (ρ_f) كثافة مادة التدعيم، (ρ_m) كثافة مادة الأساس، (W_f) وزن مادة التدعيم، (W_M) وزن مادة الأساس، (W_c) وزن المادة المترابطة.

النتائج والمناقشة

1- اختبار الانحناء: بتطبيق المعادلة (1) وبالاعتماد على النتائج المستحصلة من قياس الكتلة ومقدار الانحراف حسب معامل مرونة الانحناء للعينات كما هو مبين في الجدول (1) وشكل (1) لوحظ زيادة في معامل المرونة بزيادة الكسر الحجمي وذلك لأن النظام الطبقات في التدعيم أدى إلى زيادة في معامل المرونة، وأن معدل الزيادة يزداد قليلاً مع زيادة عدد طبقات التسليح، فضلاً على ذلك أن الألياف الزجاجية تعطي دوراً أكثر أهمية عندما تكون العينات طبقاتها الخارجية مسلحة بهذا النوع من الألياف وذلك لقابليتها على تحمل قوة الشد والانضغاط [10].

2- اختبار الصدمة: إن عملية التدعيم بالألياف لمادة الأيبوكسي أدت إلى زيادة في طاقة الكسر اللازمة لكسر المادة ومن ثم زيادة في مقاومة الصدمة لها، هذه الزيادة كانت مختلفة اعتماداً على نوعية الألياف الداخلة في تركيبها وعلى مقدار الكسر الحجمي للألياف في المادة إذ إن هذه الألياف تعمل على إعاقة نمو الكسر بصورة عامة، إذ نلاحظ أن أكبر زيادة في طاقة الصدمة في الكسر الحجمي (17%) وذلك يعود السبب أن زيادة عدد الطبقات من الألياف التي تكون بشكل حصرية يقلل من عدد الكسور وتقوم بتحويل طاقة الصدمة إلى إجهادات مستوية تتحول فيها كسور شعاعية وعدم حدوث كسور حلقيّة [11] وإن الألياف الزجاجية تعطي دوراً إيجابياً عندما تكون طبقات العينات الخارجية مسلحة بهذا النوع من الألياف وذلك بسبب تحملها القوة المسلطة على المادة المترابطة. كذلك نلاحظ زيادة متانة الصدمة كلما زاد الكسر الحجمي وزيادة في متانة الكسر الحجمي ومتانة الكسر التي حصلنا عليها من المعادلة (4) كما هو مبين في الجدول (1) وشكل (2).

3- اختبار الموصلية الحرارية: التوصيل الحراري يعد عملية مماثلة لعمليات انتقال الطاقة الأخرى ويحصل عند وجود فرق في درجات الحرارة الذي يقود إلى تولد فيض حراري يستمر حتى يصبح مقدار الانحدار في درجات الحرارة مساوية إلى الصفر نتيجة لانتقال الطاقة في الجانب ذات الدرجة الحرارية الأعلى. إن المسؤول عن انتقال الحرارة في المواد العازلة هي الفونونات التي تمثل اهتزازات الشبكية، لذا فإن عملية تصادم الفونون مع آخر تعد عملية مهمة عند تلك الدرجات التي عندها يزداد عدد الفونونات المشاركة في عملية التصادم، وهذا يعني أن التوصيلة الحرارية في هذه الحالة تعتمد كلياً على معدل المسار الحر للفونونات (معدل المسافة التي يقطعها الفونون بين تصادمين متتاليين) [12]. ولقد لوحظ أن بزيادة الكسر الحجمي تزداد الموصلية الحرارية وذلك لأن زيادة الكسر الحجمي للألياف الزجاجية تعمل دائماً على رفع قيمة التوصيلية الحرارية للراتنجات [12] كما هو مبين في جدول (2) وشكل (3).

4- اختبار ثابت العزل: ثابت العزل هو مقياس للطاقة المخزونة في مادة موضوعة تحت جهد كهربائي. إن أعلى قيمة لثابت العزل الكهربائي كانت للمترابك ذات الكسر الحجمي 17% يليه 12% ثم 7% يعود السبب في هذه الحالة يدخل تحت تأثير الاستقطاب للمجال الكهربائي في كيفية تصرف المواد بعضها مع بعض من حيث اتجاه الاستقطاب، إذ من المعروف تأثير المواد العازلة عادة عند وضعها في مجال كهربائي مما يعرف تجمع الأيونات أو الجزيئات (الاستقطاب) هنا يؤدي دوراً كبيراً في تحديد خاصية السماحية وبالنتيجة خاصية العزل الكهربائي وهذا يعتمد على شدة الترددات وشدة المجال الكهربائي وإن الاستقطاب في النماذج قيد البحث مختلفة (التدعيم والنسب والمواد)، إذ يكون الاستقطاب توجيهياً معتمداً على نوع المادة ونوع التدعيم ونسبة التدعيم [13] بزيادة مواد التدعيم تزداد قيمة ثابت العزل أكثر من قيمة للراتنج النقي وكثافة المادة تزداد بزيادة قوة التدعيم وبذلك تزداد قيمة ثابت، فضلاً عن زيادة الكسر الحجمي يزيد من خسارة بسبب زيادة كل من خسارات الاستقطاب والتوصيلية الكهربائية [14] كما هو مبين في الجدول (3) والشكل (4).

الاستنتاجات

من النتائج التي تم التوصل إليها يمكن أن نلخص الاستنتاجات الآتية:

- 1- إن زيادة في الكسور الحجمية للمواد المترابطة أدى إلى زيادة معامل المرونة.
- 2- إن زيادة في الكسور الحجمية أدى إلى زيادة طاقة الصدمة ومتانة الصدمة وكسر الصدمة.
- 3- تزداد التوصيلية الحرارية بزيادة الكسر الحجمي للمواد المترابطة.
- 4- ثابت العزل يزداد بزيادة الكسور الحجمية للمواد المترابطة.

المصادر

- 1- Hamza. M.S. (2008), Studing the effect of volume fraction of glass fiber son thermal conductivity of polymer composite materials" Journal "Al-khawarizmi Engineering Journal". 3(2) 95-97.
- 2- Haleem. A.H. (2008), Effect of jute fibers on the mechanical properties of epoxy resin. Iraqi Journal of Mechanical and Material Engineering. 8(1) 59-67.
- 3- عبدالله، مصطفى زيد، الصراف، عبد الحميد والدباغ، بلقيس. (2011). دراسة تأثير درجة الحرارة على بعض الخواص الميكانيكية لمتراكبات منفردة وهجينة"، مجلة ابن الهيثم للعلوم الصرفة والتطبيقية، 24 (2): 69-79.
- 4- Hamzah, A. M. and Al-Dabbagh, D. (2013), Study the physical properties of polymer blends reinforced by metal laminates and micro cotton power, Tech. Journal, 3(3):49-65.
- 5- Grawford. R.J. (1987). "Plastic Engineering. 2nd ed., Pergomol press, U.K.
- 6- محمود، هناء شكر. (2011). دراسة تأثير الغمر بالإيثانول والتولوين في الخواص الميكانيكية والتوصيل الحراري لمادة متراكبة من راتنج البولي أستر غير المشبع، مجلة ابن الهيثم للعلوم الصرفة والتطبيقية، المجلد 24 (2): 91-99.
- 7- Price. D.M. (2000). Thermal conductivity of PTEE & PTEF compost, North American thermal analysis, Florida.
- 8- عباس، رولا عبد الخضر. (2007). دراسة بعض الخصائص الكهربائية العزلية والعوامل المؤثرة فيها لمواد متراكبة من راتنج النوفولاك، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، 25، 8.
- 9- Hull, D. (1980). "An introduction to composite materials", 1st edition, first published, Cambridge University press. U.K.
- 10- خلف، لميس علي. (2006)، دراسة الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لمتراكبات البولي أستر غير المشبعة والمدعمة بألياف الزجاج وألياف النايلون، رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية.
- 11- Marom, G. Drukker, E. Weinberg A. and Banbaji, J. (1986), "Composite", V. 17, No. 2, PP. (150-153).
- 12- Hall, D. (1981), Introduction to composite materials", Cmabridge University Press.
- 13- لعبيبي، سعاد حامد. (2008)، تحضير ودراسة بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لمتراكبات الإيبوكسي الدقائقية الهجينة، رسالة دكتوراه، جامعة بغداد.
- 14- حسن، وسن كامل. (2011)، دراسة الخصائص الكهربائية لمتراكب بولي ستايرين-نيتونايت والعوامل المؤثرة فيها"، مجلة الكوفة، 3، 2.

جدول رقم (1) قيم طاقة الصدمة ومتانة الصدمة ومعامل المرونة ومتانة الكسر عند كسور حجمية مختلفة

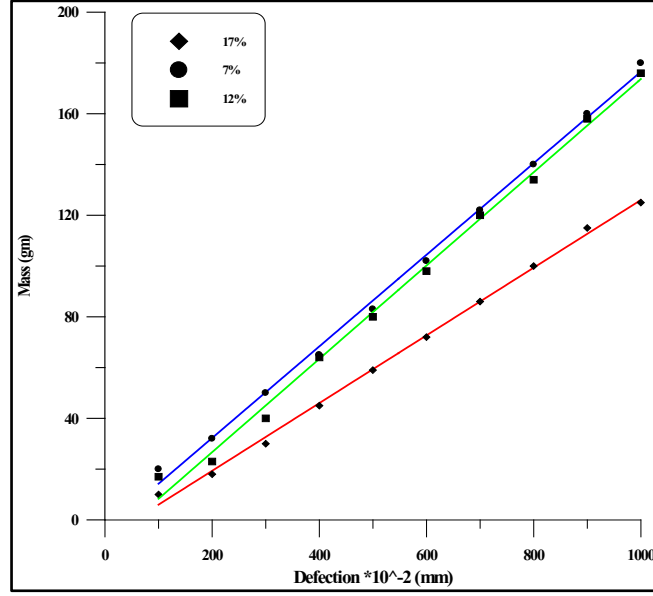
Fraction volume %	U _C (J)	G _C (J/m ²)	E (MPa)	Kc (MPa.m ^{-0.5})10 ⁻³
7% PVC (3,5%), E-glass (3,5%)	2.05	3.7	876.16	539.3
12% PVC (6%), E-glass (6%)	2.35	4.2	818.9	586.6
17% PVC (8,5%), E-glass (8,5%)	2.6	4.7	850	632.2

جدول رقم (2): يبين قيم الموصلية الحرارية باختلاف الكسور الحجمية

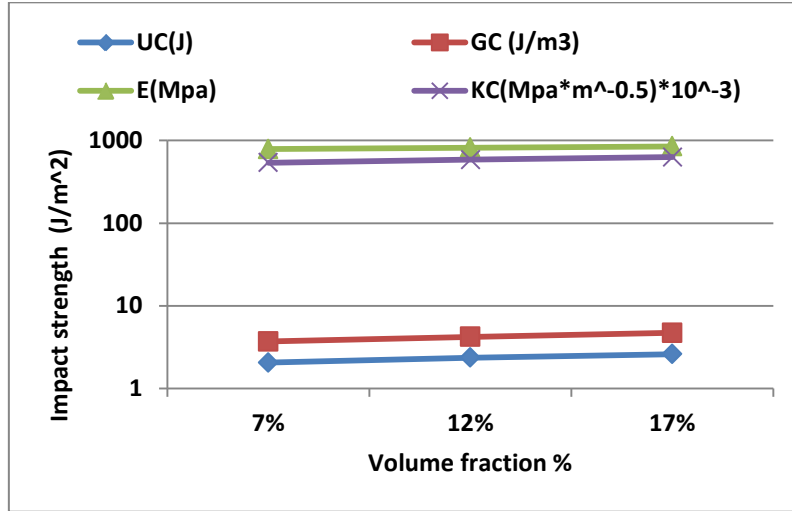
Fraction Volume %	7% PVC (3,5%), E-glass (3,5%)	12% PVC (6%), E-glass (6%)	17% PVC (8,5%), E-glass (8,5%)
K(W/m.C ^o)	0.313	0.314	0.332

جدول رقم (3): يبين قيم ثابت العزل الكهربائي باختلاف الكسور الحجمية

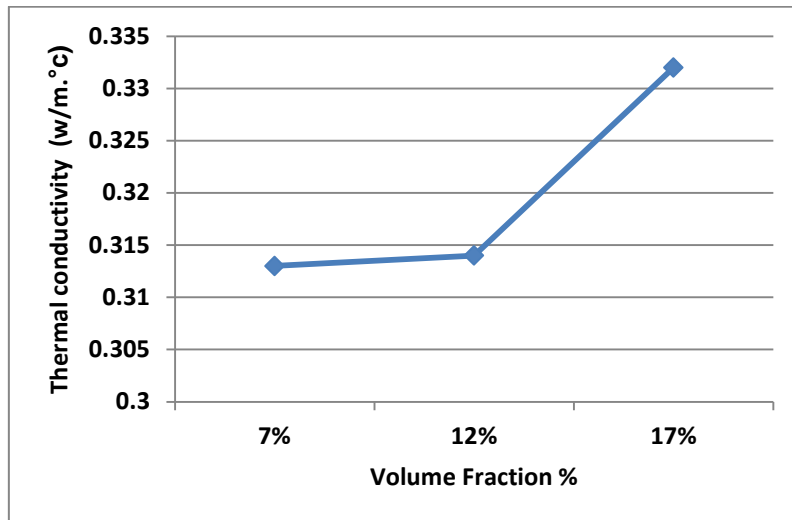
Fraction Volume %	7% PVC (3,5%), E-glass (3,5%)	12% PVC (6%), E-glass (6%)	17% PVC (8,5%), E-glass (8,5%)
ε _r	79.34	81.75	85.33



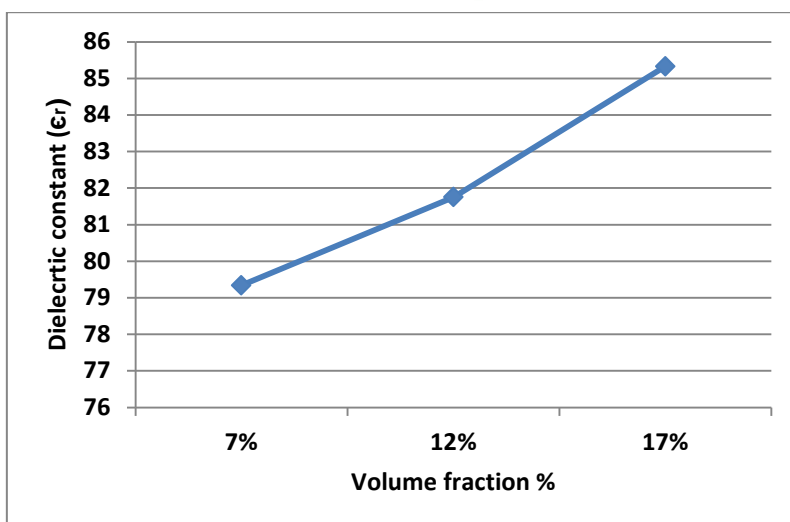
شكل رقم (1): يبين العلاقة بين متراكبات الايبوكسي عند كسور حجمية مختلفة



شكل رقم (2): يبين العلاقة بين طاقة الصدمة، مقاومة الصدمة، ومماناة الصدمة ومعامل المرونة عند كسور حجمية مختلفة



شكل رقم (3): يبين العلاقة بين الموصلية الحرارية للمتراكبات الايبوكسي عند كسور حجمية مختلفة



شكل رقم (4): يبين العلاقة بين قيم ثابت العزل للمواد المتراكبة عند كسور حجمية مختلفة

Study of Some Mechanical and Physical Properties for Epoxy Reinforced by Fibers

Hayat K. Hameed

Dept. of Physics/College of Education for Pure Science (Ibn Al-Haitham)/University of Baghdad

Received in :14April2004,Accepted in :22June2014

Abstract

In this research, we prepared a hybrid composite material of polymeric matrix hand cast method, composite material has been attended from epoxy resin EP as matrix materials reinforced woven roving fiber jute is constant volume fraction (13%), PVC fibers and woven glass fiber with different fraction on the properties of prepared composite materials to PVC fiber and glass fiber, some of mechanical tests were done at room temperature (impact test and banding test). Result shows that the values of (modulus bending elastic and fracture toughness) increase fraction of fiber with the increase of PVC, E-glass, there include (thermal conductivity and dielectric constant). Also experimental result indicated that the (thermal conductivity and dielectric constant) increase with the increase of fiber volume fraction.

Key words: Epoxy resin, polymer, reinforcement