

دراسة بعض الخواص الميكانيكية والحرارية للبولي استر غير المشبع والمدعم بدقائق سيراميكية

م.م.إنعام وادي وطن

قسم الفيزياء – كلية تربية ابن الهيثم – جامعة بغداد

الخلاصة

اجريت الدراسة بتدعيم المادة الاساس الراتنجية البولي استر غير المشبع باستعمال وبكسور ($30\ \mu\text{m}$) و بحجم حبيبي (Al_2O_3) مادة الالومينا السيراميكية (اوكسيد الالمنيوم وتم دراسة بعض الخصائص الميكانيكية ($5\%, 10\%, 15\%, 20\%, 25\%$) وزنيّة (مقاومة الصدمة والصلادة ومتانة الكسر) والحرارية (التوصيلية الحرارية) لنماذج المتراب المحضر وتم أخذ صور مجهرية للبنية الداخلية باستعمال المجهر الضوئي لمعرفة توزيع الدقائق داخل مادة الأساس بشكل منتظم. لقد أظهرت النتائج لاختبار الصدمة و الصلادة زيادتهما مع زيادة الكسر الوزني بعلاقات لا خطية في حين ازدادت التوصيلية الحرارية مع زيادة الكسر الوزني للدقائق السيراميكية والتي بلغت أعلى قيمة للمادة المترابطة المقواة بقائق اوكسيد الالمنيوم ($0.319\text{w/m}^\circ\text{C}$) عند كسر وزني (20%) حيث بلغت أعلى قيمة لها .

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

"Studying Some of the mechanical & thermal properties of polyester reinforced with ceramic particles"

Asst. Structor. I.W. Watan

Department of Physics- Ibn AL- Haitham College - University
Baghdad of

Abstract:

This study have been made by reinforcing the (matrix –material) which is unsaturated polyester using Alumina as a filler of particle size ($30\mu\text{m}$) with

Different weight Fraction of (5%, 10%, 15%, 20%, 25%). Some of its mechanical

& thermal properties have been studied for the prepared specimens . microscopic pictures have been taken for the internal structure using optical

microscope to scan the particle distribution inside matrix material in regular

way. The results Of impact and hardness showed an increase with the increase

of weight fraction as non-linear relationships whereas the thermal conductivity increased with the Increment of weight fraction for ceramic particles which has

reached the maximum Value of ($0.319 \text{ w/m}^\circ\text{C}$) for the composite material reinforced with alumina Particles at weight fraction of (20%) which has been at the maximum value.

بالنظر لامتلاك المواد المتراكبة بعض الخواص التي تتناسب مع العديد من التطبيقات الصناعية لذلك فأنها نالت مكانة مرموقة بين المواد الهندسية المختلفة، حيث أن المواد المتراكبة تجمع بين خواص مادتين أو أكثر متجاوزة مساوئ كل مادة إضافة إلى ذلك فهي تمتلك إمكانية التحكم بخواصها سواء عن طريق نوع ونسب المواد المكونة لها أو من خلال تصميمها وطرائق تصنيعها. وتعد المواد المتراكبة ذات الأساس البوليمري من أقدم المواد المتراكبة [١]. وتمتاز المواد البوليمرية المتراكبة المقواة بأنواع مختلفة من الألياف الزجاجية والكاربونية والمعدنية باستعمالاتها الواسعة التي أخذت الحيز الأكثر من البحوث السابقة، ولكن من جهة أخرى لم تأخذ المواد البوليمرية المتراكبة المقواة بالدقائق الكثير من الاهتمام مقارنة مع المواد المقواة بالألياف. تتكون المواد المتراكبة من الطور الأول الذي يعرف بالمادة الأساس (Matrix) وتكون من مادة مطيلية ذات متانة عالية مثل البوليمرات، أما الطور الثاني فيسمى بطور التقوية (Reinforcement) والذي قد يكون على شكل (ألياف ، أو دقائق ، أو قشور) من مواد صلبة مثل (بوليمرات، سيراميك، معادن) [٢]. فمن ضمن الدراسات التي أجريت في هذا المجال دراسة الباحث **Kereem** في عام (٢٠٠٢) الخصائص الميكانيكية لللايبوكسي المدعم بدقائق من النيكل وقد استعمل دقائق بأحجام مختلفة مع كسر حجمي مختلف وقد وجد أن قيم معامل المرونة ومقاومة الخضوع تزدادان مع زيادة الكسر الحجمي للدقائق وكذلك زيادة حجم الدقائق قد حسنت من الخواص ولغاية (32µm) [٣]. أما فيما يتعلق بمتانة الكسر (Fracture Toughness) (Kc) للمادة المتراكبة الدقائقية وكيفية تأثيرها في نوع الدقائق المضافة وحجمها وطبيعة الربط بين الأطوار فقد تمت معالجتها من قبل مجموعة من باحثين منهم **Lipatay, Maik & Krysztafkiewicz** حيث قاموا بدراسة التقوية بالدقائق، واستنتجوا بان تفاعل الدقائق مع المادة اللدائنية بأي شكل يؤدي إلى الحصول على نتائج أفضل، وصنفت الدقائق على هذا الأساس إلى دقائق خاملة ودقائق فعالة، وعن طريق معالجة

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

الدقائق الخاملة بالمادة الرابطة تصبح أكثر فاعلية [٥,٤]. ولدراسة تأثير حجم الدقائق والكسر الحجمي في متانة الكسر للبولىميرات المدعمة بدقائق الألومينا الكروية وبحجوم دقائقية مختلفة فقد قام الباحث **Marur** في عام (2004) وفريقه بحساب متانة الكسر فوجد أن لحجم الدقائق تأثيراً مهماً في متانة الكسر فوجد عند حجم دقائقى مقداره (5µm) تزداد متانة الكسر مع الزيادة في الكسر الوزنى للدقائق [٦]. وبعد الاطلاع على هذه البحوث اجري البحث الحالى وفيه يتم التركيز على السلوك الميكانيكى والحرارى لنماذج من متراكبات البولى استر غير المشبع المدعمة بدقائق الألومينا السيراميكية .

القسم العملى

تقسم المواد المستخدمة في هذه الدراسة على جزئين أساسين هما:

١-المادة الاساس (Matrix Material)

٢-مادة التقوية (Reinforcing Material)

المواد المستعملة

أن المواد المستعملة في تصنيع عينات البحث مكونة من مادة الأساس البوليمرية (البولى أستر غير المشبع) ومادة التقوية والتي هي عبارة عن دقائق من مادة معدنية (الألومينا - Al_2O_3) وهي كما يأتي:-

مادة الأساس

تم استعمال راتنج البولى أستر غير المشبع (UP Unsaturated Polyester Resin) كمادة أساس من شركة (SIR) السعودية، أن البولى أستر غير المشبع هو على شكل سائل لزج شفاف عند درجة حرارة الغرفة وهو أحد أنواع البوليمرات المصلدة حرارياً (Thermosets) كثافته (1200 kg/m^3) يتحول إلى الحالة الصلبة عند إضافة المصلد (Hardener) المصنع من قبل شركة (SIR) السعودية وهو (Methyl Ethyl Keton Peroxide) ورمزه (MEKP) وهو على شكل سائل شفاف يضاف بنسبة (2 %) إلى راتنج البولى أستر غير المشبع عند درجة حرارة الغرفة. وعند الانتهاء من إضافة المصلد والمحفز إلى الراتنج تبدأ عملية خلط المزيج مباشرة بواسطة الخلط اليدوى مدة (٨-١٠) دقائق إلى أن يتجانس الخليط وعند

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

تجاوز هذه الفترة الزمنية تصبح لزوجة الخلطة عالية جداً وكذلك ترتفع درجة حرارتها مما يؤدي إلى تسريع عملية التصلب وهذا يعيق عملية الصب فضلاً عن اختواء المنتج النهائي على فقاعات هوائية عالية. يمتاز راتنج البولي أستر غير المشبع بخواص ميكانيكية جيدة واستقرارية أبعاد، وقابلية ترابط جيدة مع مواد أخرى مختلفة، وعازليه كهربائية وحرارية جيدة، وجودة سطح بعد التصلب.

أن مدة التصلب للراتنج المستعمل يجب أن لا تقل عن ٣ ساعات عند درجة حرارة الغرفة. ولغرض أكمال الربط التقاطعي بشكل تام وتقليل نسبة التقلصات وزيادة الترابط بين جزيئات المادة، تم وضع الراتنج بعد تصلبه داخل فرن كهربائي (Oven) في درجة حرارة $^{\circ}\text{C}$ (٥٥ - ٦٠) مدة ساعة تسمى هذه العملية بالمعالجة السريعة (Post Curing)، وبعد أتمام هذه العملية يصبح الراتنج جاهزاً للفحص بشكل نهائي.

عينات اختبار الصدمة

تم تحضير عينات الصدمة بالأبعاد القياسية $(4 \times 10 \times 80) \text{ mm}$ وبدون حز على وفق النظام العالمي (ISO - 179) وباستعمال جهاز شاربي لاختبار الصدمة (Charpy Impact Test) والجهاز يعتمد على حساب الطاقة المطلوبة لكسر العينة وقد استعملت مطرقة الجهاز التي تضرب العينة بشكل مباشر.

عينات اختبار الصلادة

لغرض قياس الصلادة للعينات تم اتباع طريقة شور (D) (Shore D) وهذه الطريقة ملائمة للمواد البوليمرية، والعينة المستعملة بهذه الطريقة يجب أن تكون بقطر أكبر من (30 mm) وبسمك لا يقل عن (3 mm) لذا فقد تم استعمال عينة بقطر (40 mm) وبسمك (4 mm) .

الفحوصات الميكانيكية

اختبار الصلادة Hardness Test

خاصية الصلادة للمادة بشكل عام تحدد مقاومتها للخدش (Scratching) والقطع (Cut) والبلل (Wear) والتم (Indentation) والاختراق (Penetration) وقابلية

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

التشغيل (Machinability) وتعتمد صلادة المواد على نوع القوة الرابطة بين الجزيئات أو الذرات وعلى نوع السطح ودرجة الحرارة والظروف المؤثرة فيها، ويوجد العديد من طرائق قياس الصلادة . قيمة الصلادة تعطي دليلاً للمقاومة (Index of Strength) وتماسك التركيب (Structure Coherence) وترتبط الصلادة مع المقاومة الميكانيكية للمادة حيث تكون (في اغلب الأحيان) المادة ذات الصلادة الواطئة ذات مقاومة خضوع واطئة [٧].

مقاومة الصدمة للمادة (Impact Strength) ، وتستخرج قيمتها من العلاقة الآتية [٨,٩]:

$$G_c = \frac{U_c}{A} \dots \dots \dots (١)$$

حيث أن:-

U_c : طاقة الصدمة (J).

A : مساحة المقطع العرضي للعينة (m^2).

متانة الكسر للمادة (Fracture Toughness)، ويمكن الحصول عليها من

تطبيق العلاقة الآتية [٨,٩]:

$$K_c = \sqrt{G_c E} \dots \dots \dots (٢)$$

حيث أن:-

K_c : متانة الكسر للمادة (MPa.m).

E : معامل المرونة للمادة (MPa).

التوصيلية الحرارية Thermal Conductivity [١٠,١١,١٢]:

التوصيلية الحرارية هي قابلية المادة على نقل (Transfer) الطاقة الحرارية وتحدث هذه العملية عند انتقال الطاقة الحرارية من المنطقة ذات الدرجات الحرارية العالية إلى المنطقة ذات الدرجات الحرارية الواطئة نسبياً [٨] حيث توضع العينة المراد فحصها (S) بين لوحين البراص (2,1) ويوضع المسخن الموصول إلى مصدر تنظيم قدرة (Power Supply) بين القرصين (3,2)، فعند تسليط فرق جهد

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

ثابت على طرفي المسخن تزداد درجة حرارته وتنتقل الطاقة الحرارية إلى القرصين (3,2) بالتساوي أو بكميات متقاربة جداً بسبب التلامس التام للقرصين مع المسخن، وتنتقل الطاقة الحرارية من القرص (2) إلى القرص (1) من خلال عينة الفحص (S)، ويمكن استخراج قيمة التوصيلية الحرارية من خلال المعادلتين (3) و (4) :-[8]

$$\lambda \cdot \left(\frac{T_2 - T_1}{d} \right) = e \cdot \left[T_1 + \frac{2}{r} \left(d_1 + \frac{1}{2} d \right) T_1 + \frac{1}{r} d \cdot T_2 \right] \dots \dots \dots (3)$$

حيث أن:

λ : التوصيلية الحرارية (W/m.°C) .

e : فقدان في الحرارة لوحدة الزمن (ثانية) وخلال مساحة (m²) والفرق في

درجات الحرارة بين الأقراص ومحيطها.

d_1, d_2, d_3 : سمك الأقراص (m) .

d : سمك العينة (m) .

r : نصف قطر القرص (m).

T_1, T_2 : درجة الحرارة المقاسة خلال القرصين الأول والثاني.

ويتم حساب قيمة (e) من المعادلة (4) خلال معرفة أن الطاقة الداخلة إلى المسخن تساوي الطاقة الخارجة منه أي أن الطاقة الداخلة إلى المسخن تساوي الطاقة المتبددة إلى المحيط الخارجي عبر الأقراص (3,2,1) في عينات الفحص وبذلك ينتج:-

$$i \cdot v = \pi \cdot r^2 \cdot e \cdot (T_1 + T_3) + 2\pi \cdot r \cdot e \cdot \left[d_1 T_1 + d \cdot \frac{T_1 + T_2}{2} + d_2 T_2 + d_3 T_3 \right] \dots \dots (4)$$

حيث أن:-

T_3 : درجة الحرارة المقاسة خلال القرص الثالث.

i : التيار المار خلال ملف المسخن (Amper).

v : فرق الجهد على طرفي ملف المسخن (Volt).

جهاز اختبار الصدمة

لغرض إجراء اختبار الصدمة للعينات المحضرة وحساب متانة الكسر ومقاومة الصدمة، فقد تم استعمال جهاز الصدمة نوع شاربي (Charpy Impact Test Instrument) والجهاز يعتمد على حساب الطاقة المطلوبة لكسر العينة وقد استعملت مطرقة الجهاز التي تضرب العينة بشكل مباشر.

جهاز اختبار الصلادة

لقد تم استعمال جهاز شور (D) (Shore D No.DW53505) والخاص بقياس صلادة المواد البوليمرية والذي هو عبارة عن مقياس يحتوي على إبرة وقد تم استعمال العينات المحضرة الطريقة تتم بغرز الإبرة في سطح المادة إلى أن يتلامس سطح المادة مع سطح الجهاز المستوي ثم يتم الانتظار مدة ثلاث ثوانٍ بعدها يتم اخذ قيمة الصلادة من مقياس الجهاز ولإتباع هذه الطريقة بنجاح يجب أن يكون سطح العينة مستوي جداً و صقيلاً وبقطر أكبر من (30 mm) وسمك أكثر من (3 mm).

جهاز اختبار التوصيلية الحرارية

استعمل جهاز قرص لي لقياس التوصيلية الحرارية الذي يتكون من مسخن حراري (H) وثلاثة أقراص من البراص (1, 2, 3) توضع العينة (S) المحضرة بين القرصين (1, 2) ويوضع المسخن بين القرصين (2, 3).

النتائج ومناقشتها

نتائج اختبار الصدمة ومناقشتها:

أن اختبار الصدمة يختلف عن بقية الاختبارات الميكانيكية بكونه سريعاً جداً حيث تخضع العينة فيه لإجهاد ذي معدل سريع يؤدي إلى تغير في سلوك المادة. لقد تم حساب متانة الكسر (Fracture Toughness) (K_c) ومقاومة الصدمة للعينات (Impact Strength) (G_c) من خلال طاقة الكسر (U_c) المستخرجة من جهاز اختبار الصدمة شاربي. حيث تم حساب مقاومة الصدمة من العلاقة (١) ومتانة الكسر من العلاقة (٢). أن الشكل (1) يوضح تأثير تغير الكسر الوزني

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

للدقائق المضافة إلى البولي أستر على مقاومة الصدمة (G_c) ويلاحظ أن مقاومة الصدمة تزداد بزيادة الكسر الوزني لدقائق أكسيد الألمنيوم بعلاقات لا خطية وذلك نتيجة عمل هذه الدقائق كحاجز أمام الشق النامي خلال المادة المتراكبة أي تعمل على إعاقة نمو الشق وهذا سيؤدي إلى تغير الشق من شكله واتجاهه مما يؤدي إلى تحوله إلى مجموعة شقوق ثانوية، أن هذا التغير في شكل الشق واتجاهه أدت إلى زيادة المساحة السطحية للكسر والطاقة المصروفة وهذه كلها عوامل أدت إلى زيادة مقاومة المادة وهذه الحالة تحصل بشكل أفضل عندما يكون هناك ربط قوي بين المادة الأساس والدقائق كما هو الحال في دقائق أكسيد الألمنيوم والمادة الأساس. أما في حالة الربط الأقل قوة فأن التقوية تتم بآلية مختلفة تعتمد على ملاقات الشق للسطوح البينية الضعيفة وضياح وتحرر جزء من طاقته عندها [١٣]، كانت أعلى مقاومة صدمة للعينات المقواة بدقائق أكسيد الألمنيوم المضافة عند الكسر الوزني (20%) هي (10 kJ/m^2) وكما مبين في الشكل (1). إن زيادة الكسر الوزني للدقائق تؤدي إلى زيادة معامل المرونة للمادة المتراكبة المقواة بدقائق أكسيد الألمنيوم وزيادة معامل المرونة ومقاومة الصدمة وفقاً للمعادلة (٢) تؤدي إلى زيادة متانة الكسر. وأن أعلى متانة كسر تم الحصول عليها عند كسر وزني (20%) للعينات المقواة بدقائق أكسيد الألمنيوم بلغت (3.9 MPa.m) أي بنسبة تحسن مقدارها (41%) كما مبين بالشكل (٢) والذي يوضح العلاقة بين متانة الكسر والكسر الوزني لمادة التقوية ، ويعود سبب زيادة متانة الكسر مع زيادة الكسر الوزني إلى زيادة كل من متانة المادة المتراكبة (أي زيادة الطاقة الممتصة) وزيادة معامل المرونة مع زيادة الكسر الوزني.

نتائج اختبار الصلادة ومناقشتها:-

لقد اتبع اختبار الصلادة نوع (Shore D) للبولي أستر غير المشبع (UP) قبل وبعد التقوية بالدقائق وقد تم اعتماد المعدل لست قراءات لكل حالة للحصول على دقة عالية بالنتائج. والشكل (3) يوضح تأثير الكسر الوزني للدقائق المضافة في الصلادة. يتضح بأن الصلادة لمادة البولي أستر غير المشبع تزداد بإضافة دقائق أكسيد الألمنيوم وتستمر الصلادة بالزيادة مع زيادة الكسر الوزني، ومن مفهوم

الصلادة يمكن عدّها مقياساً للتشوه اللدن الذي يمكن أن تعاني فيه المادة تحت تأثير أجهاد خارجي وبذلك فإن إضافة الدقائق ترفع من صلادة المادة نتيجة لزيادة مقاومتها للتشوه اللدن. حيث امتلكت المادة المترابكة أعلى قيمة عند كسر وزني (20%) وهي (83 Shore)، وهذه الزيادة في صلادة البولي أستر غير المشبع المقوى بدقائق من أوكسيد الألمنيوم تعود إلى أن هذه الدقائق هي دقائق سيراميكية والمواد السيراميكية تمتاز بالصلادة العالية [١٤] .

نتائج اختبار التوصيلية الحرارية ومناقشتها:

يوضح الشكل (a,b-4) العلاقة بين درجة الحرارة والزمن لعينات البولي أستر غير المشبع قبل وبعد التقوية بدقائق أوكسيد الألمنيوم عند كسر وزني (15%) على التوالي. توضح الأشكال السلوك الحراري لجدار العينة القريبة من المصدر الحراري (T2) ولجدار العينة البعيدة من المصدر الحراري (T1) ونلاحظ مدى الفرق بين (T1) و (T2) وهذا يعتمد على التوصيلية الحرارية للمادة المترابكة أي يعتمد على الخواص الحرارية للمكونات المستعملة في صناعة المادة المترابكة. من هذه المخططات نجد بان درجة الحرارة تزداد مع الزمن لكل من مقاييس درجات الحرارة (T2 & T1) ويكون هناك اختلاف كبير بين درجة الحرارة (T1) والتي تخص القرص الذي يقع بعد العينة ودرجة الحرارة (T2) والتي تخص القرص الذي يقع قبل العينة . ولقد تم حساب التوصيلية الحرارية للبولي أستر غير المشبع (UP) قبل إضافة الدقائق وبعدها من العلاقات (٣) و (٤). والشكل (5) يمثل تأثير الكسر الوزني في قيمة التوصيلية الحرارية، حيث أن التوصيلية الحرارية للبولي أستر غير المشبع تزداد عند إضافة الدقائق بعلاقات لاخطية ويصبح مقدار الزيادة اكبر بزيادة الكسر الوزني. فبالرغم من كون المواد السيراميكية مواداً عازلة للحرارة حالها حال اللدائن إلا أن المواد السيراميكية تمتلك بنية بلورية تنتظم فيها الذرات وفق شبكة بلورية ثلاثية الأبعاد، أما المواد البوليميرية فهي عشوائية وترتبط بها السلاسل مع بعضها بشكل مستعرض وغير نظامي [١٥]. أن عدم الانتظام في البنية ووجود الفراغات بين السلاسل كل هذا يؤدي إلى جعل عملية انتقال الطاقة الحرارية من طرف إلى آخر عبر المادة البوليميرية عملية صعبة [١٦ و ١٧]، إن عينات البولي

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

أستر المقواة بدقائق أكسيد الألمنيوم امتلكت قيمة توصيلية حرارية بمقدار (0.319 W/m. °C) عند كسر وزني مقداره (٢٠%) بينما كانت التوصيلية الحرارية للبولي أستر غير المشبع لوحده (0.183 W/m. °C).

نتائج الفحص المجهرى ومناقشتها:

الشكل (6) يوضح مادة البولي أستر غير المشبع الذي تم تقويته بدقائق أكسيد الألمنيوم ويظهر من خلال الصور التوزيع المنتظم لدقائق أكسيد الألمنيوم بقوة تكبير (50X) ويلاحظ بأنه مع زيادة الكسر الوزني تزداد كمية الدقائق مع المحافظة على التوزيع المنتظم بدون أن يحصل أي تكتل.

الاستنتاجات

أن إضافة أكسيد الألمنيوم إلى المادة البوليمرية (البولي أستر غير المشبع) يؤدي إلى تحسين الخواص الميكانيكية بشكل عام كما لها تأثير في الخواص الحرارية. حيث ازدادت صلادة المادة المترابطة مع زيادة الكسر الوزني لدقائق أكسيد الألمنيوم عند حجم دقائق ثابت ، وكانت أعلى عند إضافة دقائق أكسيد الألمنيوم. بينما تزداد التوصيلية الحرارية للمادة المترابطة مع زيادة الكسر الوزني لدقائق أكسيد الألمنيوم عند حجم دقائق ثابت.

المصادر:

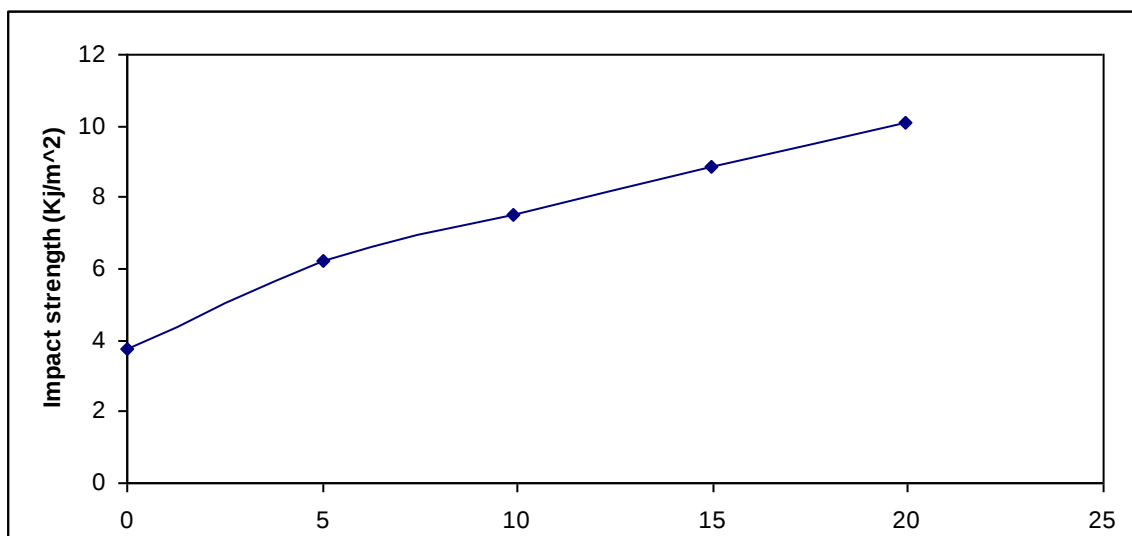
1. Weeton ,J. W., Dean ,M. P., Karyn, L.T., (1987). "Engineering's Guide to Composite Material", Published by American Society for Metals, U.S.A.

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

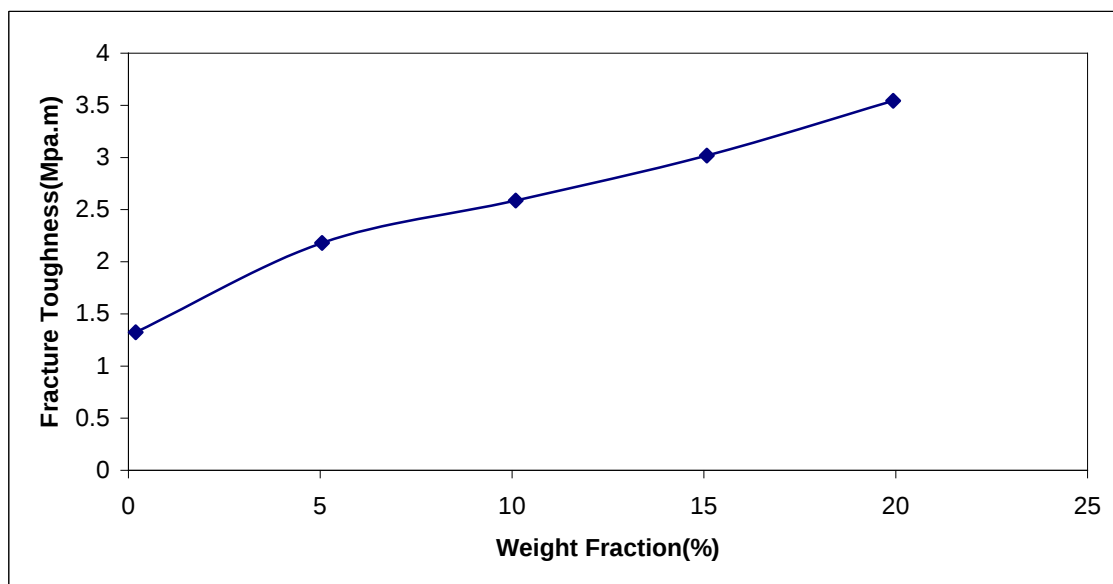
2. Bolton ,W., (1998),. " Engineering Materials Technology", 3th ed., Prentice Hall Co.
3. Kereem ,H. A., (2002). " Study the Influence of Adding Nickel Powder to a Thermosetting Epoxy Resin on the Mechanical Properties",M. Sc. Thesis, University of Technology, Baghdad,
4. Lipatay,Y.S.,(1981).," Mechanism of the Reinforcing Action of Fillers", International Journal Polymer Science and Technology, Vol.8.
5. Maik, M. & A. Krysztafkiewicz, (1981). " Effect of Fillers on the Properties of Urethane Polymers", International Journal Polymer Science and Technology, Vol.8.
6. Marur ,P. R., Batra, R. C., Garcia, G. & Loos, A. C. , (2004).,"Static & Dynamic Fracture Toughness of Epoxy /Alumina Composite with Submicron Inclusions", Journal of Materials Science, Vol.39.
7. Callister,W.D.,JR.,(2003).,"Materials Science and Engineering An Introduction" 6th ed., John Wiley and Sons,Inc., New York
٨. بيلي ف. ، ترجمة الدكتور حسين باقر رحمة الله، "مبادئ هندسة المواد"، جامعة البصرة، البصرة، (١٩٨٥).
9. Crawford ,R. J., (1987).," Plastic Engineering", 2nd ed., Pergamonl Press, U.K,
10. Budinski,K.G.,(1996). "Engineering Materials, Properties & Selection",Pretice Hall, New Jersey.
- 11.Akrill ,T. B., Bennet, G. A. & Millar, G. J(1979)," Plastics" Edward Arnold, London,.
- 12.Parrot, J. E. & Stuckes, A. D., (1975).,"Thermal Conductivity of Solids", Arrowsmith.
- 13.Spoudakis ,J. & Young ,R. J. (1984). "Crack Propagation in a Glass Particle- Filled Epoxy Resin", Journal of Materials Science ,Vol.19.
- 14.Harper,C. A., (2000)"Modern Plastic Hand Book", McGraw - Hill, New York.
- 15.Askeland ,D. R. & Phule , P. P. ., (2003)" The Science & Engineering of Materials"4th ed.

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

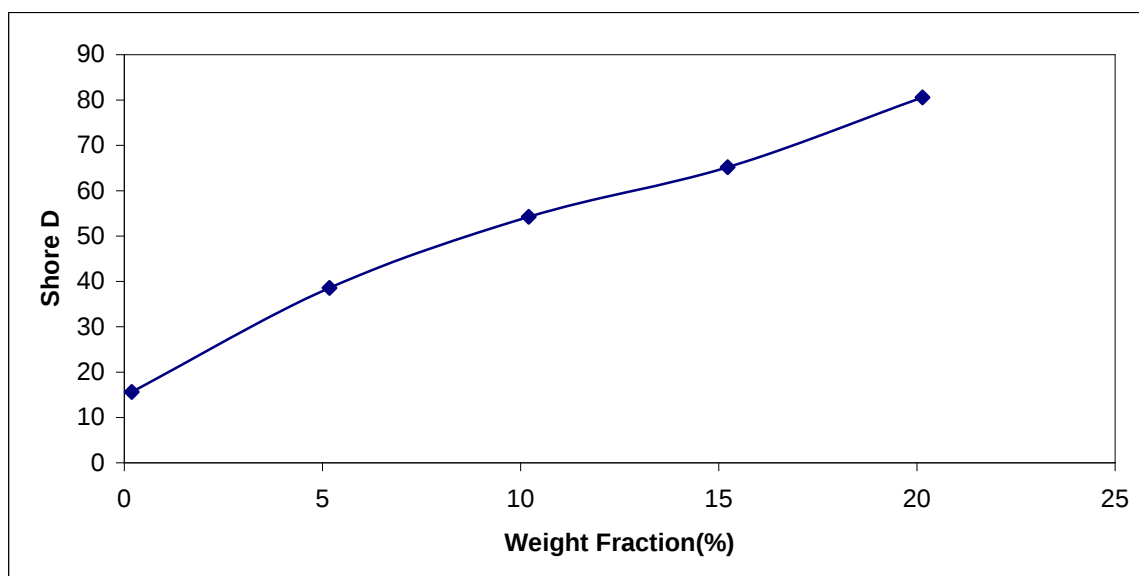
- 16.Price,D.M.,(2000)"Thermal Conductivity of PTEF & PTFE Composites", North American Thermal Analysis, Florida.
- 17.Jawdat ,A., (2002)" Study the Influence of Adding Copper Powder to a Thermosetting Epoxy Resin on the Mechanical Properties", M.Sc. Thesis, University of Technology, Baghdad.



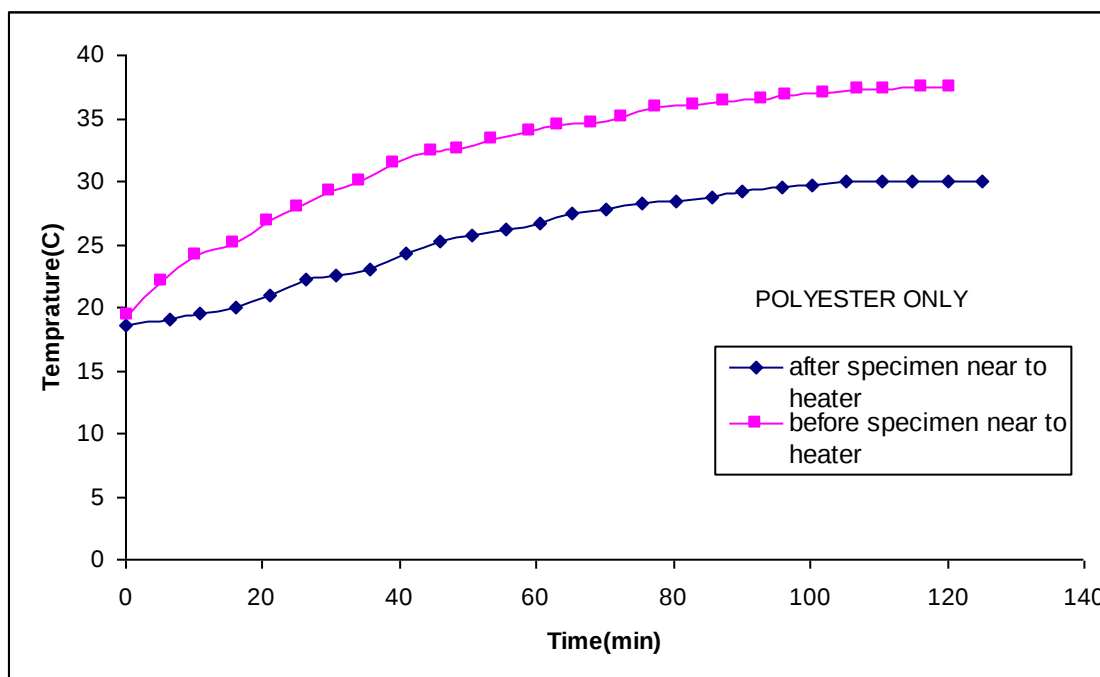
شكل (1) يوضح العلاقة بين مقاومة الصدمة (Gc) والكسر الوزني للدقائق المضافة الى البولي أستر.



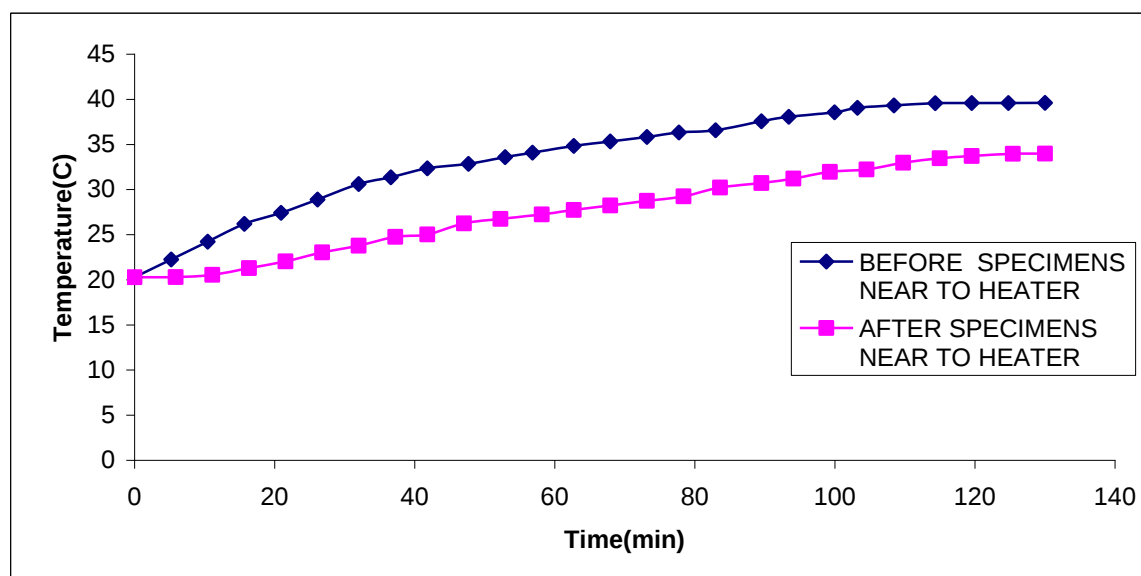
شكل (2) يمثل العلاقة بين متانة الكسر والكسر الوزني لمادة التقوية



شكل (3) يوضح العلاقة بين الصلادة والكسر الوزني لمادة متراكبة من البولي أستر المقواة بدقائق أوكسيد الألمنيوم.

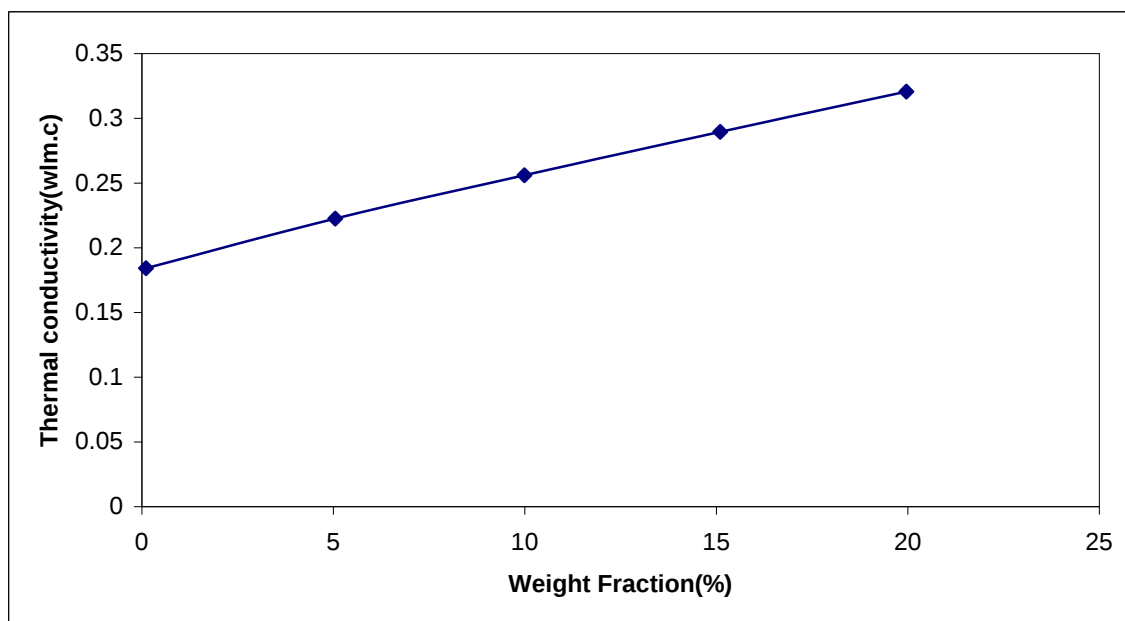


a- قبل التقوية

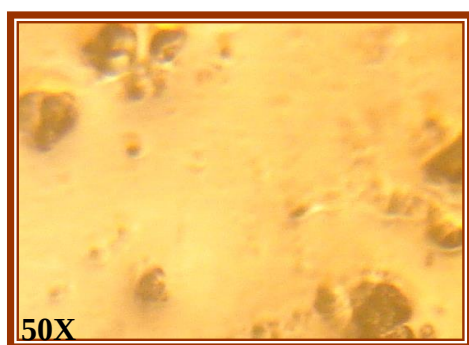


b- بعد التقوية بدقائق أوكسيد الألمنيوم عند كسر وزني (15%)

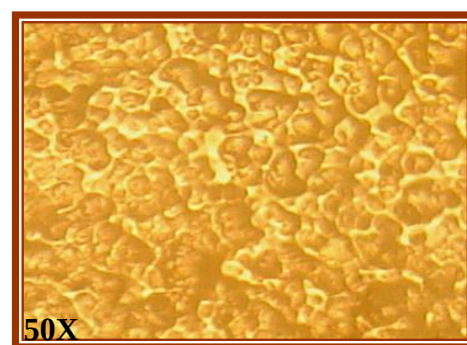
شكل (٤): يوضح الشكل العلاقة بين درجة الحرارة والزمن لعينات البولي أستر غير المشبع a- قبل التقوية b- بعد التقوية بدقائق أوكسيد الألمنيوم عند كسر وزني (15%) على التوالي.



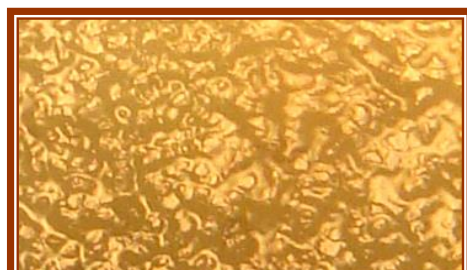
شكل (5) يمثل العلاقة بين التوصيلية الحرارية والكسر الوزني لمادة التقوية .



5%Al₂O₃



10% Al₂O₃



Diala, Jour, Volume, 37, 2009