تاثير الكسر الوزني والحجم الحبيبي للـ (Sio_2) على الموصلية الحرارية للايبوكسي

م.م. مينا فيصل خضير
الجامعة التكنولوجية / قسم هندسة المواد

الخلاصة

تم في هذا البحث استخدام جهاز قرص لي لقياس الموصلية الحرارية وتغير درجة الحرارة مع الزمن خلال سمك العينة للايبوكسي الغير مقوى والايبوكسي المقوى بدقائق السليكا عند كسر وزني وحجم حبيبي مختلف. حيث بينت النتائج بان الموصلية الحرارية تزداد بزيادة الكسر الوزني لمادة التقوية وتقل مع زيادة الحجم الحبيبي لدقائق السليكا بعلاقات لاخطية وان اقصى فرق بين الموصلية الحرارية بين الايبوكسي المقوى والغير مقوى كان بمقدار (0.445 w/m.ºc) عند كسر وزني (W_p=20 %) وعند حجم حبيبي (25 µm) لدقائق السليكا الذي بلغت عند هذا الكسر الوزني والحجم الحبيبي اعلى قيمة للموصلية الحرارية وكانت (k=0.61 w/m.ºc).

الكلمات الرئيسية: الموصلية الحرارية، الايبوكسي، الكسر الوزني، الحجم الحبيبي، دقائق السليكا.

The Effect of Weight Fraction and Grain Size of (Sio_2) on the Thermal Conductivity of Epoxy

Assist. Lecturer Mena Faisal Khdeer
Materials Eng. Depart. / University of Technology

Abstract

This research deals with use of Lee's disc to measure the thermal conductivity and temperature change with respect to time through the thickness of the specimens of the unreinforced epoxy and reinforced epoxy by silica particles at different weight fraction and grain size. The results show that the thermal conductivity increased by increasing the weight fraction and reduced by increasing the grain size of silica particles by nonlinear relationship and the maximum difference between the unreinforced epoxy and reinforced epoxy was (0.445 W/m.ºc) at weight fraction (20 %) and grain size (20 µm) of silica particles, where at this value of weight fraction and grain size the thermal conductivity was maximum value (k= 0.61 W/m.ºc).

المقدمة

لقد اقتضت الحاجة لعمل المواد المتراكبة نتيجة للتطور العلمي والتكنولوجي الكبير الذي شهده العالم الى ايجاد مواد بديلة عن المواد التقليدية كالمعادن وسبائكها والمواد السيراميكية وذلك لما تتصف به من خصائص ومميزات افضل.

حيث تعرف المواد المتراكبة على انها خلق مادة جديدة من اتحاد مادتين او اكثر اتحاد فيزياوي اي دون ان تحدث بينها تفاعلات كيميائية مثل (معدن-سيراميك) (بوليمر-سيراميك) اي تبنى المادة المتراكبة من خلال اضافة مواد معينة لتدعيم المادة الاساسية لتكوين خصائص ومواصفات جديدة اضافة لخفة وزنها لتحقيق الهدف من انتاجها [1].

وتكون المواد المتراكبة ذات ترتيب منتظم اومبعثر وعشوائي حيث هنالك ثلاثة مميزات تحدد خواص المواد المتراكبة وهي: عملية الخلط ومواد التقوية والطور البيني [1].

ان قدرة المواد على ايصال الحرارة من خلالها تقاس بالموصلية الحرارية حيث ان الجزء الساخن من المادة تمتلك الكترونانة طاقة حركية عالية وان الحرارة تزيد من حركة الالكترونات الحرة وبالتالي تزيد من عدد التصادمات بينها [2].

المواد المتراكبة ذات استخدام واسع في العديد من التطبيقات وتعتمد على درجة الحرارة والتي لها علاقة في تحسين الخواص الميكانيكية والحرارية وتقليل من الوزن بالنسبة للمواد التقليدية. الخواص الحرارية للمواد المتراكبة مهمة جدا والتي تدل على التغير الواسع للمواد المتراكبة مع درجات الحرارة وكم مقدار الحرارة المطلوبة لتغيير المادة وكيف تصبح جيدة او رديئة للتوصيل الحراري. وتعتبر العوازل من التطبيقات النموذجية للمواد المتراكبة ذات اساس من راتنج الايبوكسي المقوى بالدقائق السراميكية [3].

وقام الباحث Murthy واخرون ٢٠٠٤ بدراسة تحليل الاجهادات الحرارية وتوزيع درجات الحرارة خلال الصفيحة المتراكبة السميكة باستخدام موديل فيزياوي وموديل ثنائي الابعاد باستخدام طريقة العناصر المحددة للايبوكسي المقوى بثلاثة مواد مختلفة [3].

وكذلك قام العالم Khimov مع اخرون ٢٠٠٨ بدراسة تاثير حجم الحبيبات المواد المتراكبة على الموصلية الحرارية حيث استنتج ان الموصلية الحرارية للمواد المتراكبة مخلوطة بالماس الذى حضر عند ضغط (8 Gpa) بوجود النحاس يزداد مع زيادة حجم حبيبات الماس [4].

كما بحثا العالمان Linson & Stapley ٢٠٠٨ الموصلية الحرارية لمادة الايبوكسي المدعمة بالالمنيوم فوجدا ان الموصلية الحرارية تزداد باضافة الالمنيوم للايبوكسي حيث كان قطر الحبيبة لمادة (Al هي) (75 μm) [5].

كما درس العالمان Tin Klepaugh & Truesdale ٢٠١٠ تاثير الحجم الحبيبي على الموصلية الحرارية لاكاسيد السيراميك. حيث وجدوا عند اضافة حبيبات الالمنيوم الى المنيوم متعدد البلورات بان الموصلية الحرارية ضمن المدى ($100\text{-}1000C^o$) تقل بهدوء باختلاف الحجم الحبيبي من (2 الى 4 الى

10). وان التاثير يتبع علاقة تبادل حجم المضاف حيث ان دور الشوائب في الخلط او التنقيع يؤثر في كثافة عينة الالمنيوم النقية قد تصل الى (99%) [6].

واجرى العالمان Midttomme & Roaledset ١٩٩٨ بحثا عن مدى تاثير الحجم الحبيبي على الموصلية الحرارية لمادة الكوارتز. فتم تحضير عينات ذات كسور حجمية مختلفة وتم تسليط اجهاد مباشر على العينات بشكل عمودي ومتوازي. ووجدوا هناك علاقة بين المسامية وقياس التوصيلية الحرارية. فان الماء المشبع بالعينات يقلل من الموصلية الحرارية مع زيادة المسامية. فستنتجوا العلاقة الطردية بين الموصلية الحرارية والحجم الحبيبي [7].

وعمل الباحث Philling 1979 واخرون بدراسة التوصيلية الحرارية لمتراكب الايبوكسي المدعم بالياف الكاربون ولدرجات حرارة تتراوح مابين (80-270 K) ومعرفة مدى تاثير درجات الحرارة على معامل التوصيل الحراري الطولي والمستعرض واستنتجا انه بزيادة درجات الحرارة تتغير معامل التوصيلية الحرارية الطولية والمستعرضة اعتمادا على الكسر الحجمي للالياف واتجاه انتشار الالياف داخل المادة الاساس [8].

هدف البحث هو دراسة الخصاص الحرارية المتمثلة بتغير درجة الحرارة مع الزمن خلال سمك العينات والموصلية الحرارية لعينات الايبوكسي تحت تاثير تغير كل من الكسر الوزني والحجم الحبيبي لدقائق SiO_2 كمادة تقوية.

الجزء النظري

ان الخواص النهائية للمواد المتراكبة المدعمة بالدقائق تتاثر بعدة عوامل تتعلق بخواص مادة الاساس وبخواص مادة التقوية مثل نوع وحجم وشكل الدقائق وتوزيعها ضمن المادة الاساس.

وتقسم التقوية بالدقائق الى قسمين الاول يمثل المواد المتراكبة المدعمة بالتشتيت والتي تكون دقائقها صغيرة الحجم لاتتجاوز (0.1μm) والتي تعمل على تقوية مادة الاساس عن طريق اعاقة حركة الانخلاعات خلال عملية التشوة اللدن ونسبة الكسور الحجمية فيها تتراوح بين (1-15%) ويستخدم هذا النوع من المواد المتراكبة في صناعة المكابس واذرع التوصيل. اما النوع الثاني يمثل المواد المتراكبة المدعمة بالدقائق والتي تكون حجم دقائقها اكبر من (1 μm) وتكون نسبة الكسور الحجمية فيها (25-50 %) او اكثر ويستخدم هذا النوع من المواد المتركبة في صناعة رؤوس اقلام القطع [9& 10].

وتستخدم قاعدة الخلط لتنبؤ وتخمين خواص المواد المتركبة الدقائقية مثل الموصلية الحرارية. حيث ان القيمى العليا للموصلية الحرارية (K_L) والقيمة الدنيا للموصلية الحرارية (K_u) تحسب من العلاقات التالية :[11]

$$K_u = K_p \cdot V_p + K_m \cdot V_m \qquad (W/m.°C) \qquad (1)$$

$$K_L = \frac{K_p \cdot K_m}{K_p \cdot V_m + K_m \cdot V_p} \qquad (W/m.°C) \qquad (2)$$

حيث ان:

K_P, K_m = الموصلية الحرارية لمادة الاساس والدقائق على التوالي.

V_P, V_m = الكسر الحجمي لمادة الاساس والدقائق على التوالي.

وان علاقات ربط الكسر الحجمي بالكسر الوزني لكل من مادة التقوية ومادة الاساس تتمثل بالمعادلات التالية:

$$V_P = \frac{\rho_c}{\rho_P} \cdot W_P \cdot 100\ \% \qquad (3)$$

$$V_m = \frac{\rho_c}{\rho_m} \cdot W_m \cdot 100\ \% \qquad (4)$$

حيث ان:

ρ_m, ρ_p, ρ_c = كثافة كل من المادة المتراكبة ومادة التقوية ومادة الاساس على التوالي (g/cm^3) .

W_m, W_p = الكسر الوزني لمادة التقوية ومادة الاساس على التوالي.

علما" ان مجموع الكسور الوزنية والكسور الحجمية موضحة بالعلاقات التالية:

$$W_p + W_m = 1 \qquad (5)$$

$$V_p + V_m = 1 \qquad (6)$$

الجزء العملي

في الجزء العملي يتم تحديد الموصلية الحرارية في المختبر لعدة عينات من المواد المتراكبة. **والشكل ١** يمثل جهاز الاختبار (جهاز القرص لي Lee's disc) مثبتة عليه عينات الاختبار وبعض الملحقات لقياس درجة الحرارة على جانبي العينة للمواد المتراكبة لغرض حساب الموصلية الحرارية.

يتم تجهيز الحرارة من قبل مجهز القدرة بفولتية (6V) وتيار (0.2A) لتسخين القرصين (2,3) والمصنوعة من مادة البراص وان درجات الحرارة لجميع الاقراص تزداد بعلاقة غير خطية بمعدلات مختلفة مع الزمن وفقا الى التجهيز من مصدر الحرارة. ويتم تسجيل درجات الحرارة لكل (5 دقائق) حتى الوصول كل الاقراص الى حالة التوازن الحراري.

العينات المستخدمة مصنعة من مادة الايبوكسي المقواة بدقائق SiO_2 وبسمك (4mm) وقطر (ds= 40 mm) ولكسر وزني (Wp= 5, 10, 15, and 20 %) ولحجم حبيبي (25 µm , 75 µm and 125 µm)

علما ان نماذج هذه العينات موضح **بالشكل ٢** . اما الاقراص الاخرى لجهاز القرص لي تكون ذات سمك (d_s=12mm) وبقطر (d=40mm) ومصنوعة من مادة البراص.

تنتقل الحرارة (Q) خلال سمك العينة لتعطي:

$$Q=-K\cdot\frac{dt}{dx} \qquad (7)$$

حيث أن :-

Q: الفيض الحراري (Thermal Flux) (انسياب الحرارة لكل وحدة زمن لكل وحدة مساحة عمودية على اتجاه الانسياب) ($Watt / m^2$).

K: التوصيلية الحرارية ($W / m .^oC$).

$\frac{dT}{dX}$: انحدار درجة الحرارة خلال الوسط الموصل ($^oC / m$).

ويمكن استخراج قيمة التوصيلية الحرارية من خلال المعادلتين (٨ & ٩) التالية [12] :

$$K\cdot\left[\frac{T_2-T_1}{d_s}\right]=e\cdot\left[T_1+\frac{2}{r}\cdot\left(d_1+\frac{1}{2}d_s\right)\cdot T_1+\frac{1}{r}\cdot d_s\cdot T_2\right] \qquad (8)$$

حيث أن:

e : الفقدان في الحرارة لوحدة الزمن (ثانية) وخلال مساحة(m^2) والفرق في درجات الحرارة بين الأقراص ومحيطها.

d_1, d_2, d_3 : سمك الأقراص (m) .

ds: سمك العينة (m) .

r :نصف قطر القرص(m).

T_1,T_2 : درجة الحرارة المقاسة خلال القرصين الأول والثاني (^oC).

حيث تم حساب قيمة (e) من المعادلة (9) خلال معرفة أن الطاقة الداخلة إلى المسخن تساوي الطاقة الخارجة وبذلك ينتج [13]:-

$$I\cdot V=\pi\cdot r^2\cdot e\cdot\left(T_1+T_3\right)+2\cdot\pi\cdot r\cdot e\cdot\left[d_1\cdot T_1+\frac{1}{2}\cdot d_s\left(T_1+T_2\right)+d_2\cdot T_2+d_3\cdot T_3\right] \qquad (9)$$

حيث أن:-

T_3: درجة الحرارة المقاسة خلال القرص الثالث (ºC).

i: التيار المار خلال ملف المسخن (Amper).

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

النتائج والمناقشة

توضح **الاشكال (٣ و٤ و٥)** العلاقة بين درجة الحرارة (T_1 & T_2) والزمن لعينات الايبوكسي الغير مقوى والايبوكسي المقوى بكسر وزني (Wp= 10 %) وحجم حبيبي (125 µm) وكذلك الايبوكسي المقوى بكسر وزني (Wp= 20 %) وحجم حبيبي (25 µm) على التوالي.

من خلال الاشكال نلاحظ سلوك تصاعدي لدرجة الحرارة مع الزمن لكل من (T_2) لجدار العينة القريب من المصدر الحراري و(T_1) لجدار العينة البعيد عن المصدر الحراري حتى وصولها لحالة الاستقرار الحراري وبعلاقات لاخطية. حيث يختلف سلوك العينات المركبة من حالة لاخرى اعتمادا على الكسر الوزني والحجم الحبيبي لمادة التقوية المستخدمة.

حيث لوحظ من خلال الاشكال مقدار الفرق بين (T_1) و (T_2) وهذا يعتمد على الخصائص الحرارية المتمثلة بقيم الموصلية الحرارية لكل من مادة التقوية ومادة الاساس. حيث هنالك اكبر فرق بين (T_1) و (T_2)هو لمادة الايبوكسي واقل فرق بين (T_1) و (T_2) هو لمادة الايبوكسي المقوى بكسر وزني (Wp= 20 %) وحجم حبيبي (25 µm).

الاشكال (٦ و ٧ و ٨) توضح العلاقة بين الموصلية الحرارية والكسر الوزني لدقائق السليكا عند حجم حبيبي (125 µm, & 75 µm, 25 µm) على التولي.

حيث نلاحظ ان الموصلية تزداد بعلاقات لاخطية مع زيادة الكسر الوزني لكن معدل الزيادة يختلف من كسر وزني لاخر وهذا يعزى الى اختلاف الحجم الحبيبي لدقائق السليكا. وكذلك لوحظ بان اقصى فرق للموصلية الحرارية بين الايبوكسي المقوى والايبوكسي الغير مقوى كان بمقدار (0.445 W/m. ºc) عند كسر وزني (20 %) وعند حجم حبيبي (25 µm) لدقائق السليكا. وان اقل فرق للموصلية الحرارية بين الايبوكسي المقوى والايبوكسي الغير مقوى كان بمقدار (0.165 W/m. ºc) عند كسر وزني (20 %) وعند حجم حبيبي (125 µm) لدقائق السليكا. ويعزى ذلك الى المساحة السطحية للدقائق تكون الكبر والمسافات البينية بين الدقائق تكون اقل عند التقوية بكسر وزني اكبر وحجم حبيبي الكثر نعومة وبالتالي يكون تاثيرها واضح على الموصلية الحرارية. اضافة الى ذلك فان مادة التقوية تمتلك بنية بلورية تنتظم فيها الذرات وفق شبكة بلورية ثلاثية الابعاد.

الشكلين (٩ و ١٠) يبينان العلاقة بين الموصلية الحرارية والحجم الحبيبي لدقائق السليكا عند الكسور الوزنية (W_p=5 %) و (W_p=20 %) على التوالي. حيث لوحظ من كلا الشكلين بان الموصلية الحرارية تقل مع زيادة الحجم الحبيبي بعلاقات لاخطية ايضا" وان اعلى قيمة للموصلية الحرارية كانت عند

حجم حبيبي (25 μm) وكسر وزني (W_p=20 %) حيث بلغت (k=0.61 w/m.ºc). اضافة الى ذلك يبدو من الشكلين بان معدل الهبوط في الموصلية الحرارية مع الحجم الحبيبي للكسر الوزني (W_p= 20 %) هو اكبر مما عليه عند الكسر الوزني (W_p= 5 %).

الاستنتاجات

من خلال التجارب العملية للموصلية الحرارية للايبوكسي المقوى بدقائق السليكا عند كسر وزني وحجم حبيبي مختلف وللايبوكسي الغير مقوى تبين ما يلي:

١-) يقل مقدار الفرق بين درجات الحرارة (T_2 & T_1) لسطحي العينة المركبة بزيادة الكسر الوزني ونقصان الحجم الحبيبي.

٢-) الموصلية الحرارية تزداد مع زيادة الكسر الوزني ونقصان الحجم الحبيبي.

٣-) اعلى موصلية حرارية كانت (k=0.61 w/m.°c) عند حجم حبيبي (25 μm) وكس وزني (wp=20 %) وتختلف بمقدار (0.455 w/m.°c) عن الايبوكسي الغير مقوى.

المصادر

[1]W. Bolton,” Engineering Materials Technology”, butterworth – Heinemann, Third edition, (1998).

[2]Rymond B. Seymor," Polymer Composities", the Netherland First Edition, (1990).

[3]BSR Murthy, Dr.A. Rama Krishna and B.V. Rama Krishna," Thermal Analysis of Epoxy Based Fiber-Reinforced", IE(I) Journal-MC, Vol.84, April, (2004).

[4]E.A.Ekimov, N.V. Suetin, A.F Popovich," Effect of Microstructure and grain size on the thermal conductivity of high pressure sintered diamond composities", J. Inorganic Materials, Vol.44, No.3 (2008).

[5]W.J. Tamlinsan and D. Stapley,"Thermal Conductivity of epoxy resin Aluminium", Journal of Materials Science, Vol. 12, No.8 (2004).

[6]Tin Ylepaugh, J.R. & Truesdale, R.S.,"Grain Size Effects on the Thermal Conductivity of Ceramic Oxides", (2010).

[7]Kirsti Midttomme and Elen Roaldset, " The Effect of Grain Size on Thermal Conductivity of Quartz sands and silts", Vol.4, No.2, May (1998).

[8]M.W. Pilling, B. Yates, M.A. Black,“The Thermal Conductivity of Carbon Fiber – Reinforced Composites “, Journal of Materials Science, Vol.14, (1979).

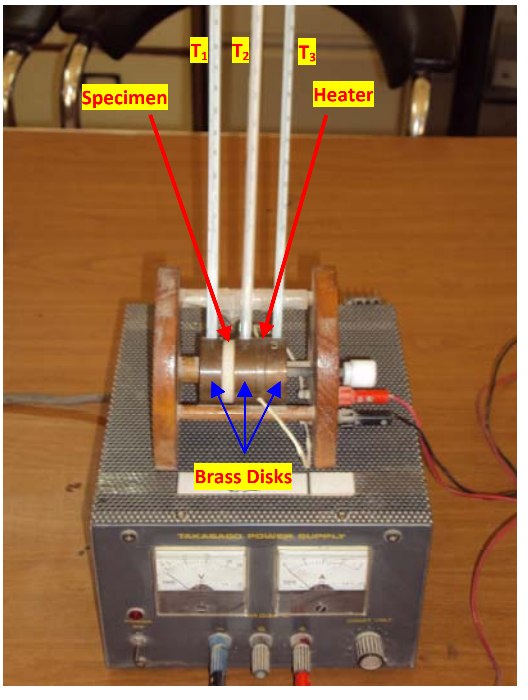
[9]G.Lublin,"Handbook of Fiber glass and Advanced Composite", Littone Educational Co. Network, (1960).

[10]William D. Callister,"Materials Science and Engineering An Introduction", Sixth Edition, John Wiley and Sons, Inc., (2003).

[11]R.M.Jones,"Mechanics of Composite Materials", Mc Graw-Hill, New York, (1975).

[12]L. Holliday,"Composite Materials", Elsevier Publishing, London, (1966).

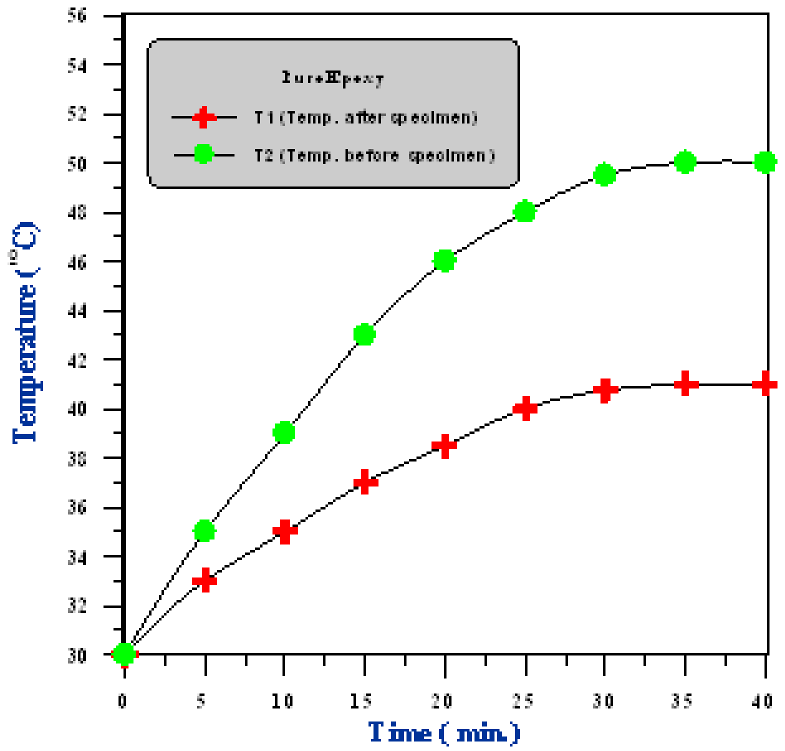
[13]L.J. Broutman and R.H. Krock,"Modern Composite Materials", Eddison Wisely, London, (1967).



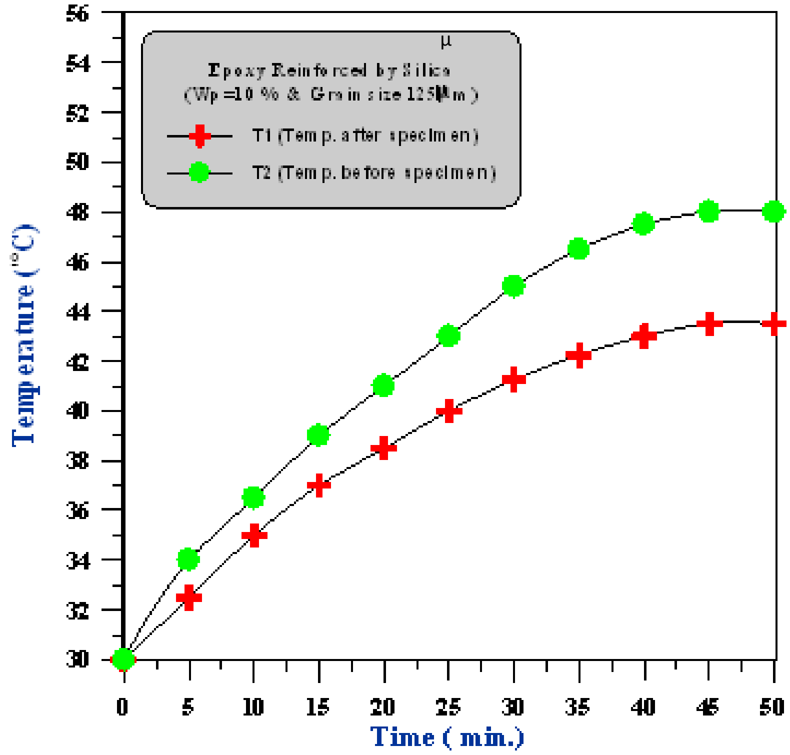
شكل ١ جهاز قرص لي مع الملحقات.

شكل ٢ نماذج من عينات الفحص.

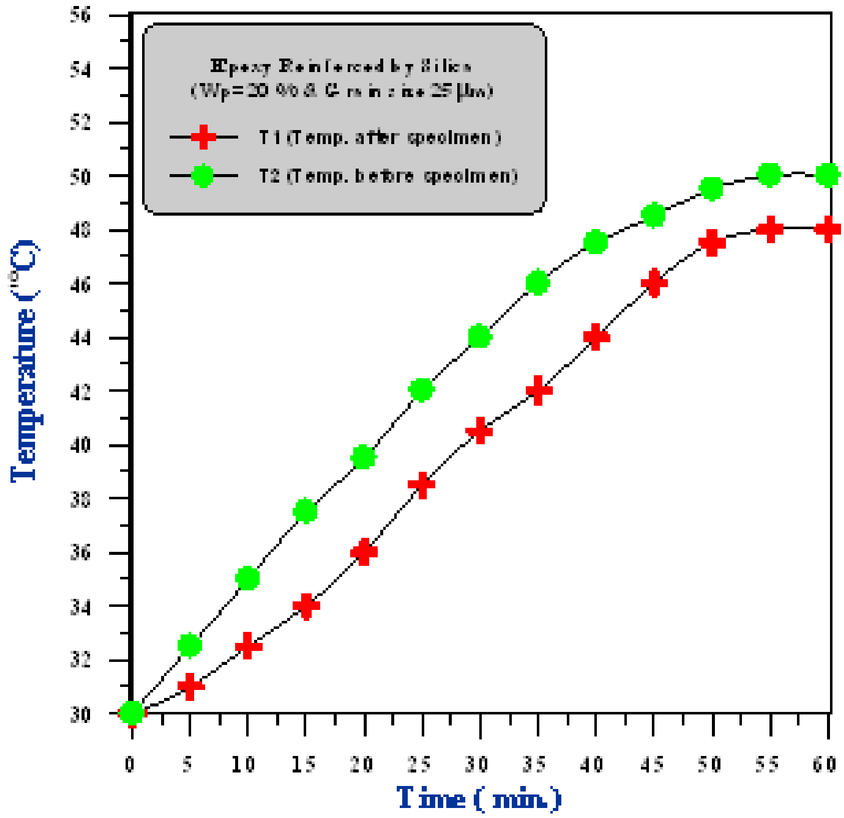
ֺ



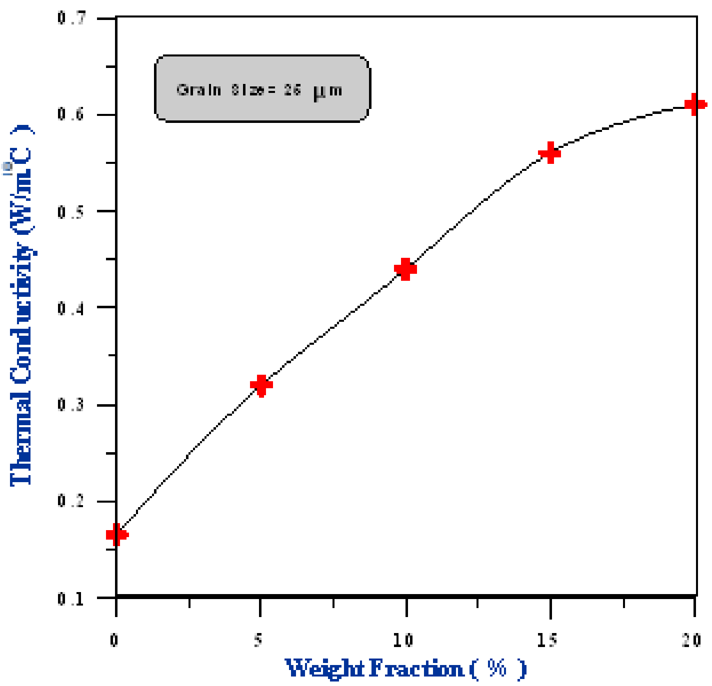
شكل ٣ العلاقة بين درجة حرارة اسطح العينة مع الزمن للايبوكسي الغير مقوى.



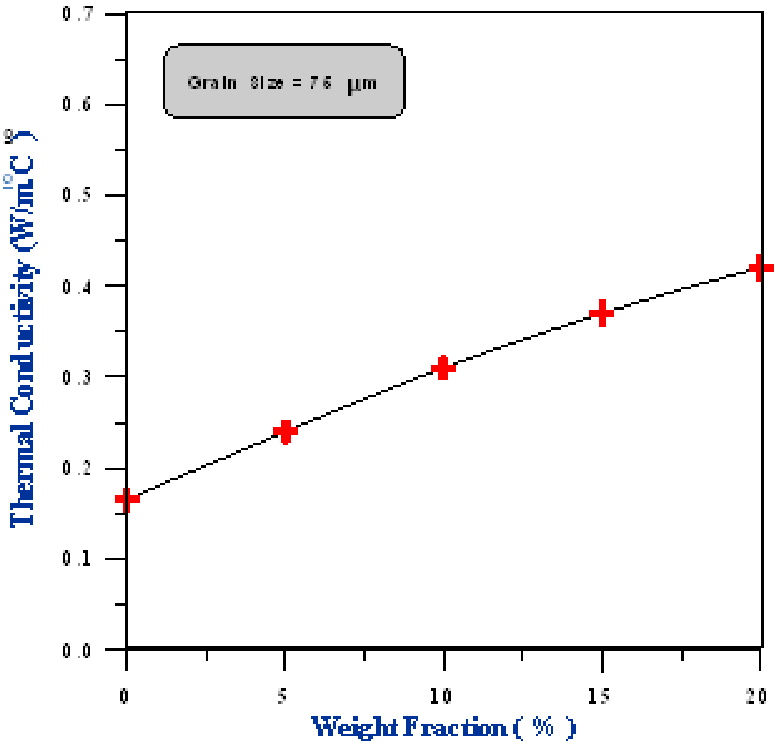
شكل ٤ العلاقة بين درجة حرارة اسطح العينة مع الزمن للايبوكسي المقوى بكسر وزني (Wp=10 %) وحجم حبيبي (125 μm) .



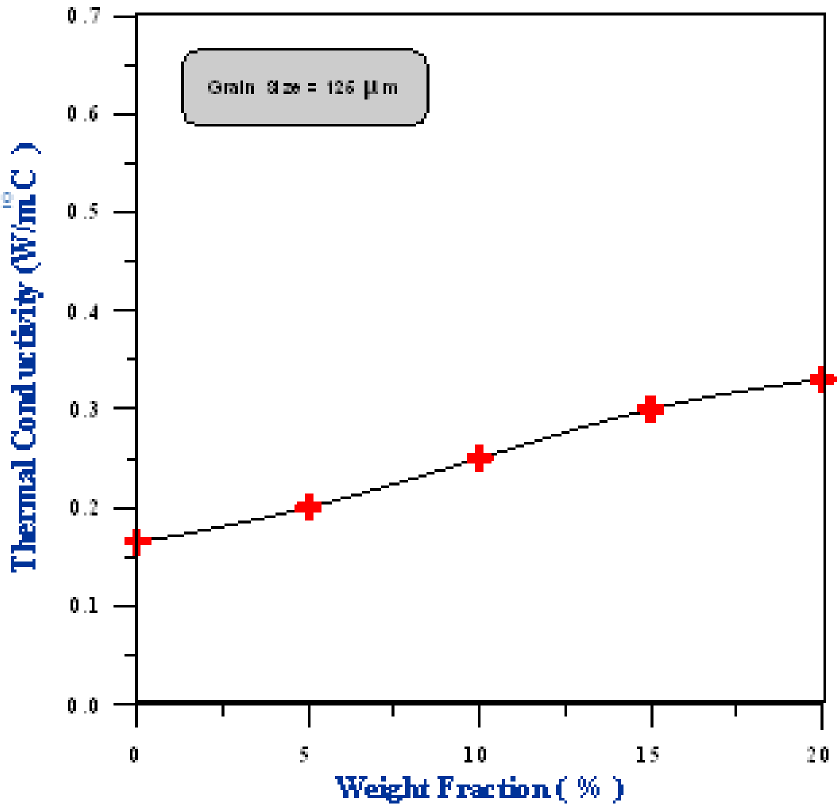
شكل ٥ العلاقة بين درجة حرارة اسطح العينة مع الزمن للايبوكسي المقوى بكسر وزني (Wp=20 %) وحجم حبيبي (25 μm) .



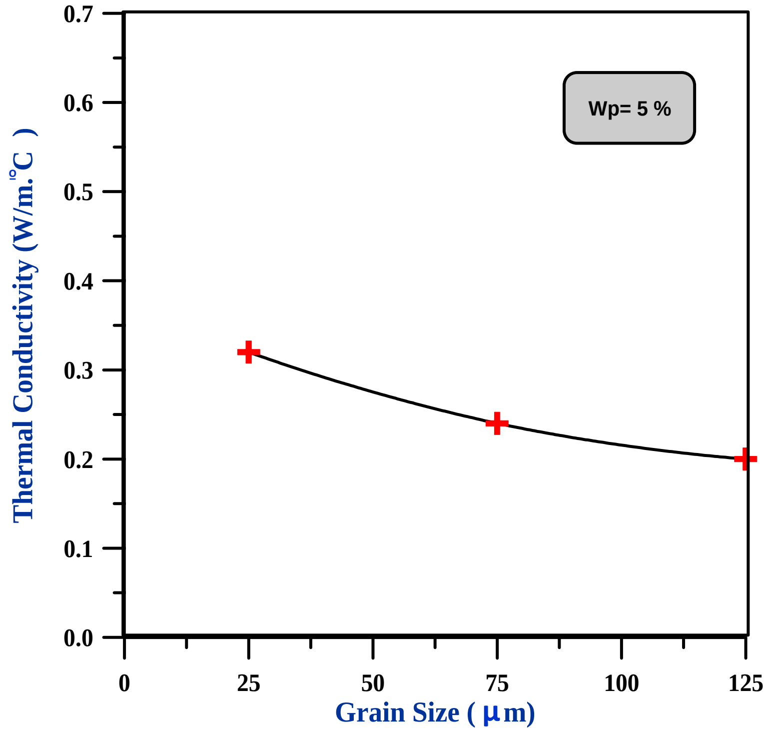
شكل ٦ العلاقة بين الموصلية الحرارية والكسر الوزني عند حجم حبيبي (25 μm) .



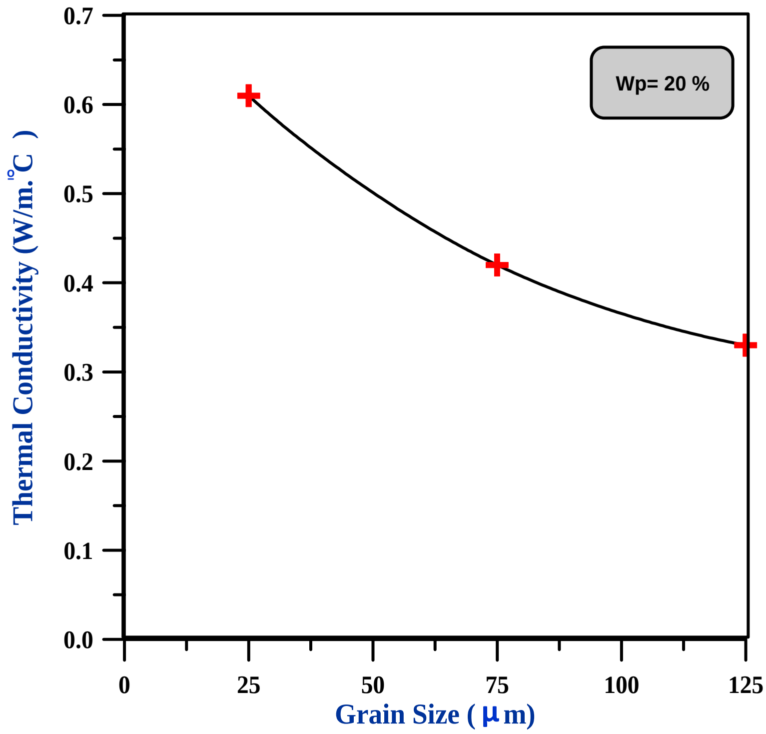
شكل ٧ العلاقة بين الموصلية الحرارية والكسر الوزني عند حجم حبيبي (75 µm) .



شكل ٨ العلاقة بين الموصلية الحرارية والكسر الوزني عند حجم حبيبي (125 µm) .



شكل ٩ العلاقة بين الموصلية الحرارية والحجم حبيبي عند كسر الوزني (Wp= 5 %)



شكل ١٠ العلاقة بين الموصلية الحرارية والحجم حبيبي عند كسر الوزني (Wp= 20 %).