دراسة الموصلية الحرارية و مقاومة الصدمة لمادة البولي أستر غير المشبع المقواة بدقائق من الألمنيوم

حنين زهير ناجي	سندس عباس جاسم	شيماء جابر كريم
مدرس مساعد	مدرس مساعد	مدرس مساعد
كلية الهندسة / قسم الكهروكيمياوي	كلية هندسة المواد / قسم المعدنية	كلية الهندسة / قسم المواد

الخلاصة:

يهدف البحث الحالي إلى تحضير مادة مركبة ذات أساس بوليمري مقواة بدقائق من الألمنيوم بأحجام مختلفة و بكسر حجمي متغير، حيث تم استخدام دقائق برادة من الألمنيوم، بحجم حبيبي (13 μ*m*)، و دقائق ألمنيوم غبارية، و تم دراسة تأثير الكسر الحجمي لدقائق الألمنيوم و بيان تأثيره على الموصلية الحرارية و مقاومة الصدمة للمادة المركبة المصنعة.

أثبتت النتائج أن الموصلية الحرارية للمادة المقواة بدقائق ألمنيوم (البرادة) تزداد مع زيادة الكسر الحجمي حيث بلغت (4.85 *W/mm.K*) عند الكسر الحجمي (% 9.2). بينما المادة المركبة المقواة بدقائق ألمنيوم غبارية ترتفع الموصلية الحرارية إلى قيمة (4.74 *W/mm.K*) عند الكسر الحجمي (% 2.2) ثم تنخفض إلى (4.38 *W/mm.K*) عند الكسر الحجمي (% 4.7) و قد تم ثبوتها عند قيم محددة من الكسر الحجمي.

كما بينت النتائج أن مقاومة الصدمة الميكانيكية للمادة المركبة المقواة بدقائق غبارية تزداد بزيادة الكسر الحجمي حيث بلغت أقصى قيمة (81.25 kJ/m^2) عند الكسر الحجمي (% 9.2). بينما المادة المركبة المقواة بدقائق ألمنيوم (برادة) تزداد أيضاً مع زيادة الكسر الحجمي و لكن بصورة أقل مما في المادة المركبة المقواة بدقائق ألمنيوم غبارية حيث بلغت (63.158 kJ/m^2) عند الكسر الحجمي (% 9.2).

Studying of Thermal Conductivity and Impact Strength for Unsaturated Polyester Material Reinforced by Aluminum Particles

Abstract:

This work aims to prepare a polymer – metallic (composite material) reinforced by aluminum particles with different grain size and various volume fraction. Using filing particles from aluminum with a grain size (13 μ*m*), and aluminum dust particles. This work studies the effect of volume fraction for aluminum particles and predicts its effect on thermal conductivity and impact strength of the prepared composite material. The results show that the thermal conductivity of a material reinforced by aluminum particles (filings) increases as the volume - fraction increases, where it reaches (4.85 *W/mm.K*) at volume – fraction (9.2 %), whereas in composite material reinforced by aluminum dust, the thermal conductivity increases to reach (4.74 *W/mm.K*) at volume – fraction (2.2 %) and then decrease to (4.38 *W/mm.K*) at volume fraction (4.7%) and then stable at limited ratio from volume fraction.

Also the results show that the mechanical impact resistance for composite materials by dust particle increases as the volume – fraction – particle increases, where it reaches (81.25 kJ/m^2) at volume fraction (9.2%). whereas composite materials reinforced with aluminum particle (filing) also increase as volume – fraction increases, but, as little as the increasing of composite materials reinforced by dust where reachs (63.158 kJ/m^2) at volume fraction (9.2 %).

المقدمة (Introduction):

في عالم المواد هناك عدد من الاختبارات تلائم عدداً من الاحتياجات، و جميع هذه المواد تمتلك خواصاً نوعية بحيث تجعلها مفيدة لبعض التطبيقات و غير مفيدة للبعض الآخر و عند التطبيق لا تبدي الخواص المطلوبة. لذا تجمع المواد المختلفة بخواص مرغوبة لتعطي هذه الاحتياجات. و ناتج هذه المواد يعرف بالمواد المركبة [**Victor, 2003**].

إن المواد البوليميرة ذات الموصلية الحرارية العالية نجدها في تطبيقات واسعة في صناعة أشباه الموصلات مثل تغليف الحزم الالكترونية (electronic packaging encapsulation)، معدات الاتصال في القمر الصناعي (communication satellite devices)، المركبات الفضائية (space crafts)، أجهزة الكومبيوتر (computer devices)، والعديد من الصناعات التي تتطلب وزناً خفيفاً وموصلية حرارية جيدة [**James E. Mark, 2007**].

تستعمل المواد المركبة عندما تمتلك المادة مقاومة عالية و خفة الوزن، بينما المعادن نوعاً ما تمتلك مقاومة عالية لكنها ثقيلة الوزن و تعتمد خواص المواد المركبة مباشرة على الكسر الحجمي لكل محتوى في الخليط و خصوصاً خواص مادة الأساس و خواص مادة التقوية [**Gilles, 2002**].

لقد دخلت المواد المركبة في جميع مجالات الحياة تقريباً المدنية و العسكرية، و قد كان للتطور في مجال العلم و التكنولوجيا الأثر الكبير في تطور هذا العلم و اعتبار هذه المواد البدائل الرئيسة لكثير من المواد المستخدمة في نفس تلك المجالات نظراً للمميزات التي تمتاز بها هذه المواد من خفة وزن و سهولة تصنيع و الجوانب الأمنية و الصحية التي تتمتع بها **[Ashby, 1996]**.

تتكون المواد المركبة بشكل عام من دمج مادتين أو أكثر للحصول على مادة ذات خواص هندسية و فيزيائية تختلف عن خواص المواد الداخلة في تركيبها و تكون خواص المادة الناتجة أفضل من مكوناتها. المادة المركبة تتكون من طورين هما طور الأرضية (Matrix Phase) و طور التقوية (Reinforcing Phase)، أما طور الأرضية فقد يكون مادة معدنية أو سيراميكية أو بوليميرية، أما طور التقوية فيشمل عدة أنواع هي الألياف (Fibers)، الدقائق (Particles) المالئات (Fillers)، القشيرات الرقيقة (Flakes) و الطبقات الرقيقة (Laminates) و حديثاً ازداد الاهتمام بالمواد المركبة ذات الأساس البوليميري بسبب مواصفات هذه المجموعة من المواد الهندسية، و لاسيما للتطبيقات التي تستخدم مقاومة نوعية عالية. و من أهم المواد التي تستخدم كمواد أساس هي المواد البوليميرية بأنواعها الثلاث المطاوعة للحرارة (Thermoplastic) و المتصلدة حرارياً (Thermosetting) و المرنة المطاطية **[Schwartz, 1984]**.

ومن الأمثلة على هذه الأنواع البولي أستر (polyester) المتصلد حرارياً، و الذي لا يصلح للاستخدام بمفرده لأنه هش و لا يتميز بالكفاءة العالية و لكن بإدخال بعض مواد التقوية تكسبه خواصاً جيدة و دقائق الألمنيوم المستعمل كمادة تقوية تؤثر على متانة الكسر للراتنجات البوليستر الغير مشبع و الهش و كلاً من حجم الدقائق و الكسر الحجمي لها تأثير على سلوك الكسر و متانة الكسر **[Singh ,2002]**.

أما الموصلية الحرارية فهي ظاهرة من ظواهر الانتقال الحراري و فيها تم انتقال الطاقة من موقع إلى آخر بسبب تهيج الجزيئات مصحوباً بتغير في درجة حرارة المادة من موقع إلى آخر. و تختلف ميكانيكية الموصلية الحرارية تبعاً لحالات المادة الثلاث (الجامدة – السائلة – الغازية) و كذلك تختلف الموصلية الحرارية في المواد الموصلة عنها في المواد العازلة. **[MccRum, 1997]**

حديثاً جرت دراسة الموصلية الحرارية لمادة مركبة محشوة بدقائق الألومينا في مادة بوليميرية (PMMA) في مدى درجات الحرارة $40 < T < 280$ K و قد وجد أن الموصلية

الحرارية للمادة المركبة تنخفض في درجات حرارة واطئة أقل من 100 K و أقصى انخفاض يحدث في 40 K. [**Putnam, 2003**]

الجزء العملي Practical Part

المواد المستخدمة Materials Used:

في هذا البحث تم استخدام البولي استر غير المشبع كما استخدمت دقائق الألمنيوم بحجمين مختلفين الأول على شكل غبار الألمنيوم و الثاني على شكل برادة الألمنيوم بمتوسط حجم حبيبي للبرادة (13 μm) و الجدول رقم (1) يوضح خواص المواد المستخدمة في البحث. و كانت نقاوتهما (99.8 %) و(٩٠ %) على التوالي حيث تم حسابهما في شركة المسح الجيولوجي والتعدين و الشكل رقم (١) يوضح شكل دقائق الألمنيوم المستخدمة.

تحضير النماذج Samples Preparation:

تم عمل قالب من الفولاذ على شكل اسطوانة مجوفة ذات قطر خارجي (30 *mm*) و قطـر داخلي (25 *mm*)لقياس الموصلية الحرارية و آخر على شكل متـوازي مـستطيلات بالأبعـاد الداخلية (55 × 10 × 4 *mm*) من مادة البولي أستر غير المـشبع و المـضاف إليهـا المـادة المصادة (PPH)، وقد اعتمدت الأبعاد بالاعتماد على مواصفات الجهاز المستخدم. و الجـدول رقم (٢) يوضح نسب الكسر الحجمي للمادة المركبة.

و قد تم حساب الكسر الحجمي بالاعتماد على المعادلة التالية. [**Kovacs *etal*., 2004**].

$$V_p = \left(\frac{V_p}{V_C}\right) \times 100$$

$$V_p = \frac{W_p/\rho_p}{\frac{W_p}{\rho_p} + (1 - W_p)/\rho_m}$$

حيث أن:

V_P= الكسر الحجمي للمادة المركبة.

W_P= وزن مادة التقوية.

ρ_P = كثافة مادة التقوية ($Al = 2.7\ g/cm^3$).

ρ_m= كثافة مادة الأساس (البولي أستر = $(1.1 - 1.6)\ g/cm^3$)
[Callister,2007]

تم خلط البوليمر (البولي أستر) يدويا مع المادة المصادة لمدة (5) دقائق ثم تم إضافة دقائق الألمنيوم و خلطها جيداً، و قبل صب السائل تم مسح القوالب بمادة الفازلين بشكل متجانس (لضمان نزع المادة المركبة المحضرة بدون تكسر أو خدش).

بعد أن تم التأكد من مستوى القالب الأفقي تم صب البوليمر مع مادة التقوية مع تجنب تكون الفقاعات الهوائية أثناء الصب و التي قد تفقد النموذج جودته، ثم ترك القالب على هذا النحو لمدة (25) ساعة لغرض تصاب المادة المتكونة.

الاختبارات الحرارية و الميكانيكية

اختبار الموصلية الحرارية Thermal Conductivity Test:

بعد الحصول على النماذج المركبة على شكل نماذج اسطوانية الشكل بالأبعاد (25 × 30 *mm*) جرت عملية قياس الموصلية الحرارية باستخدام جهاز قياس الموصلية الحرارية للمواد الصلبة **Heat Conduction Apparatus, P. A. Hillton Ltd.** [England]، حيث تم استخدام قدرة (10 *W*) و لمدة ساعة واحدة لجميع النماذج و يمكن حساب معامل التوصيل الحراري لنماذج المادة المركبة باستخدام قانون فورير للتوصيل الحراري **Fourier's Law of Heat Transform** [**James E. Mark, 2007**].وقد اعتمدت على اساس بعد واحد.

$$Q = -KA\frac{dT}{dx}$$

حيث أن:

Q: كمية الحرارة المارة بوحدة الزمن (watt).

K: معامل التوصيل الحراري (W/mm.ºC)

A: مساحة مقطع انسياب الحرارة للنموذج (mm2)

dT/dx: تغير درجة الحرارة نسبة للموقع (ºC / mm)

عند تسليط كمية الحرارة خلال مساحة المقطع للنماذج فإن المتحسسات الحرارية المرتبطة بالنموذج سوف تسجل قراءات حرارية للنموذج و التي تمثل (dT/dx) و من ثم يحسب K من المعادلة:

$$K = \frac{-Q\ dx}{A\ dT}$$

اختبار مقاومة الصدمة Impact Strength Test

بعد إعداد نماذج من المواد المركبة المقواة بدقائق الألمنيوم و التي كانت بالأبعاد التالية (55 × 10 × 4 *mm*) ، تم تنعيم العينات قبل الاختبار للتخلص من النتوءات و العيوب السطحية و ذلك باستخدام ورق كاربيد السليكون بدرجات نعومة مختلفة.

لقد تم اختبار النماذج باستخدام جهاز فحص الصدمة نوع جاربي (Charpy Impact Instrument) كما اعتمدت المواصفة القياسية ASTM – E23 في تصنيع نماذج الاختبار كما مبين في الشكل رقم (1-*a*).

$$Impact\ strength = \frac{Fracture\ energy\ (KJ)}{cross-section\ of\ area\ (m^2)} = \frac{FE}{A}$$

حيث أن:

FE: طاقة الكسر و المحسوبة من جاربي (جهاز فحص الصدمة) (KJ)

A: مساحة المقطع للنموذج (m^2).

النتائج و المناقشة Results and Discussion

اختبار الموصلية الحرارية Thermal Conductivity Test

في اختبار الموصلية الحرارية للبولي أستر و الذي يمتلك معامل توصيل حراري قليل قيمته (0. 17 *W/m.K*) مقارنة مع حالة التقوية بدقائق الألمنيوم و الذي يمتلك معامل توصيل حراري عالي، حيث تعتمد الموصلية الحرارية بالدرجة الأساس على نوع الدقائق المستخدمة و على موقعها خلال الوسط. و من خلال الشكل رقم (4) نلاحظ ارتفاع الموصلية الحرارية للمادة المركبة المقواة بدقائق ألمنيوم الغبارية مع زيادة الكسر الحجمي للمادة المركبة حيث بلغت قيمة الموصلية الحرارية (4.74 *W/mm.K*) عند الكسر الحجمي (2.2 %) و من ثم انخفضت إلى قيمة (4.38 *W/mm.K*) عند الكسر الحجمي (4.7 %) و ثبوتها تقريباً مع زيادة الكسر الحجمي . و يعزى ذلك إلى أن دقائق الألمنيوم الغبارية (dust) تكون المساحة السطحية للدقائق المعرضة للهواء كبيرة و بالتالي تعرضه للأكسدة أكبر و بما أن جهاز قياس الموصلية الحرارية يعتمد على وجود متحسسات في تماس مع السطح فإن القياس يكون بالدرجة الأساس للطبقة الأوكسيدية و المعروف أن أوكسيد الألمنيوم قليل التوصيل الحراري و هذا يفسر ثبوت الموصلية الحرارية عند قيم محددة مع زيادة الكسر الحجمي للمادة المركبة، بينما عند التقوية بدقائق ألمنيوم البرادة (filings) نلاحظ زيادة الموصلية الحرارية مع زيادة الكسر الحجمي للمادة المركبة حيث بلغت قيمة الموصلية الحرارية (4.85 *W/mm.K*) عند الكسر الحجمي (9.2 %) إذ تكون دقائق ألمنيوم البرادة مغروسة في البولي أستر فيكون تعرضه للتأكسد قليل أو معدوم و بذلك تزداد الموصلية الحرارية مع زيادة الكسر الحجمي للمادة المركبة. و الشكل رقم (5) يوضح العلاقة بين الكسر الحجمي و الموصلية الحرارية للمادة المركبة المقواة بدقائق ألمنيوم البرادة.

اختبار مقاومة الصدمة:

تعبر مقاومة الصدمة عن مقدرة المادة لمقاومة الكسر تحت تأثير حمل مفاجئ و المواد الأكثر متانة هي التي تبدي أعلى مقاومة للصدم، حيث يمتلك البولي أستر مقاومة صدمة قليلة(و من خلال الشكل رقم (6) نلاحظ زيادة مقاومة الصدمة للمادة المركبة المقواة بدقائق ألمنيوم غبارية مع زيادة الكسر الحجمي حيث بلغت قيمة مقاومة الصدمة القصوى (81.25 kJ/m^2) عند الكسر الحجمي (9.2 %)، و يعزى هذا السلوك الى ان المادة البوليميرية بطبيعتها مادة هشة ومقاومتها للصدمة ضعيفة واضافة دقائق الالمنيوم يضفي عليها شيء من المطيلية وبذلك تتحسن مقاومة الصدمة لها وهذه الدقائق المضافة تستقر داخل السلاسل الجزيئية وتعمل كمعوقات للشق وبذلك تحتاج الى طاقة كبيرة جدا كي تتكسر**[Ashby,1996]**. أما المادة المركبة المقواة بدقائق ألمنيوم برادة تزداد مقاومة الصدمة أيضاً مع زيادة الكسر الحجمي للمادة المركبة و لكن بصورة أقل مما في المادة المركبة المقواة بدقائق غبارية فقد بلغت قيمة مقاومة الصدمة القصوى (63.158 kJ/m^2) عند الكسر الحجمي (9.2 %). و يعزى ذلك إلى اختلاف عدد دقائق الألمنيوم البرادة في مساحة المقطع عن ما في نماذج المادة المركبة المقواة بدقائق ألمنيوم غبارية.

الاستنتاجات

١- أثبتت نتائج اختبار الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر زيادة الموصلية الحرارية بعد التقوية بدقائق من ألمنيوم البرادة مع زيادة الكسر الحجمي للمادة المركبة.

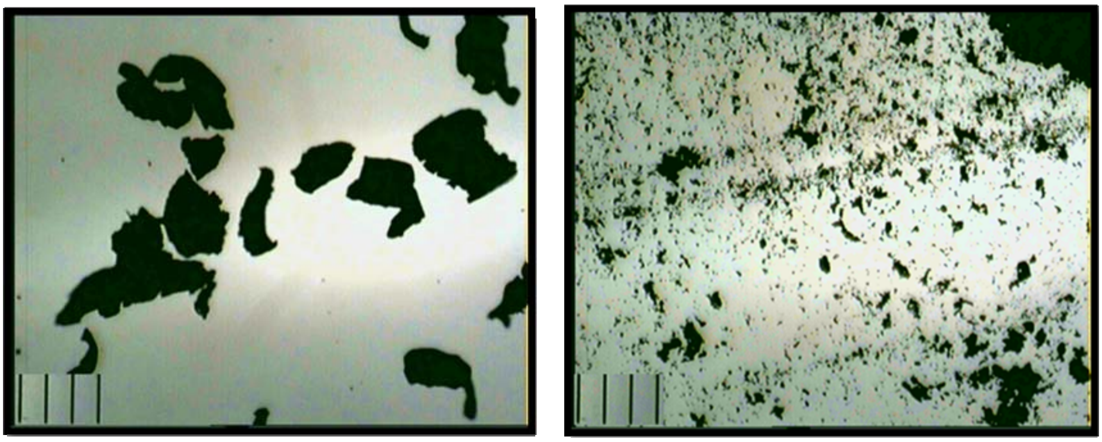
٢- ارتفاع الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر بعد التقوية بدقائق من ألمنيوم الغباري مع زيادة الكسر الحجمي للمادة المركبة و من ثم انخفاضها و ثبوتها تقريباً مع زيادة الكسر الحجمي.

٣- أثبتت نتائج اختبار مقاومة الصدمة لراتنج البولي أستر زيادة مقاومة الصدمة بعد تقويته بدقائق الألمنيوم الغبارية مع زيادة الكسر الحجمي للمادة المركبة. بينما مقاومة الصدمة لراتنج البولي أستر المقوى بدقائق ألمنيوم البرادة تزداد أيضاً مع زيادة الكسر الحجمي للمادة المركبة و لكن بصورة أقل مما في المادة المركبة المقواة بدقائق الغبارية.

المصادر References:

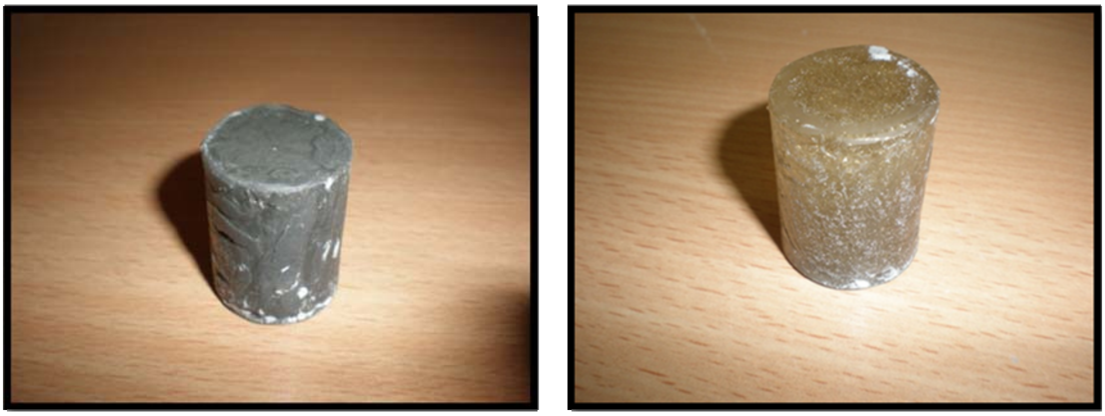
1- Gilles Rotman, 2002, Composite Materials Drive and Innovation, ISSN 1241-1515, www.industrie.gouv.fr/accuell.htm.

2- James E. Mark, 2007, Physical Properties of Polymers, Hand book, 2nd. Edition.
3- Kovacs, G.; Groenwold, A. A; Jarmai, K.; Farkas, J.; 2004, Analysis and Optimum Design of Fiber Reinforced Composite Structures, Structural and Multidisciplinary Optimization, vol. 28, No. 2-3, pp. 170-179.
4- Schwartz M. M., "Composite Materials Handbook", Division of United Technology, U.S.A., 1984, pp. (103-310).
5- Mcc Rum, N.G.; 1997; Principles of Polymer Engineering; Oxford Science Pub.
6- Putnam, S.A., David G. Cahili, D. G., Ash, B. S. and Schadler, L. S., High – Precision Thermal Conductivity Measurements as a probe of polymer / nanoparticle interfaces.
7- Singh R. P.; Zhang.; Chan D., 2002, Toughening of a Brittle Thermosetting Polymer: Effects of Reinforcement Particle Size and Volume Fraction.
8- Victor F. Okhuysen, 2003, "A Practical Assessment of Fiber Reinforced Aluminum Matrix Composites".
9- William D. Callister, Jr., 2007; Materials Science and Engineering: An Introduction, John Wiley & Sons, Inc.
10- Michael F. Ashby, David R. H. Jones, 1996, Engineering Materials 1: An Introduction to their Properties and Applications, Butterworth-Heinemann.



(a) (b)

شكل رقم (1) **دقائق الألمنيوم المستخدمة بقوة تكبير**
400x
(a) دقائق ألمنيوم البرادة
(b) دقائق ألمنيوم غبارية



(b) (a)

شكل رقم (2) النماذج المستخدمة
(a) نموذج الموصلية الحرارية للمادة المركبة المقواة بدقائق ألمنيوم برادة.
(b) **نموذج الموصلية الحرارية للمادة المركبة المقواة بدقائق ألمنيوم غبارية.**

(a) (b)

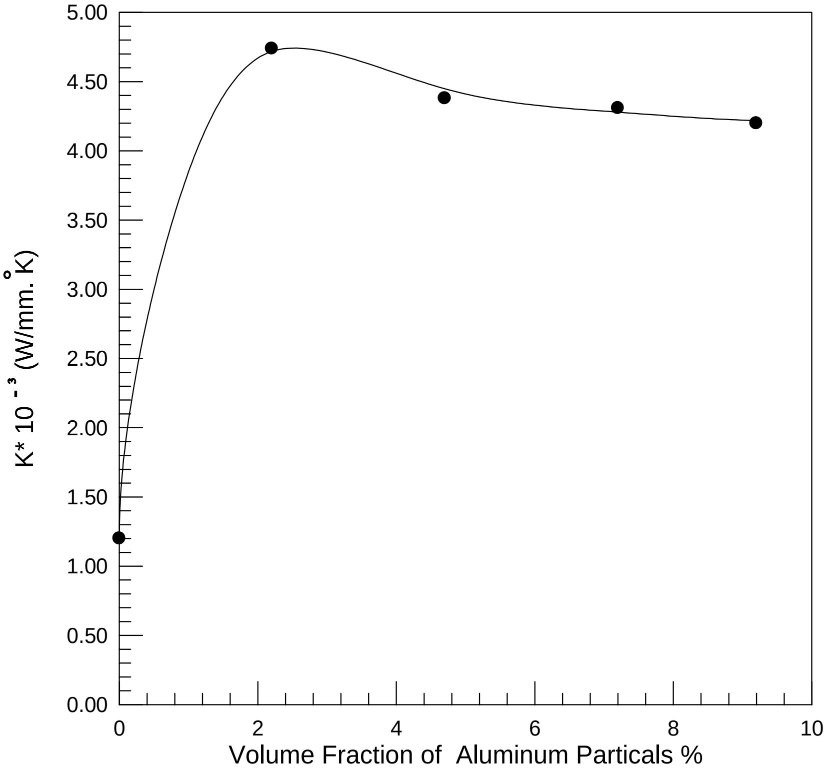
شكل رقم (3) نماذج اختبار الصدمة المستخدمة
(a) نماذج الصدمة الميكانيكية قبل الكسر.
(b) نماذج الصدمة الميكانيكية بعد الكسر.

المادة	معامل المرونة GPa	الموصلية الحرارية W/m.K	معامل التمدد الحراري $10^{-6}\ (C^{0})^{-1}$
الألمنيوم	٧٠	٢٢٠	7.4
البولي أستر	2.06 – 4.14	0.17	100-180

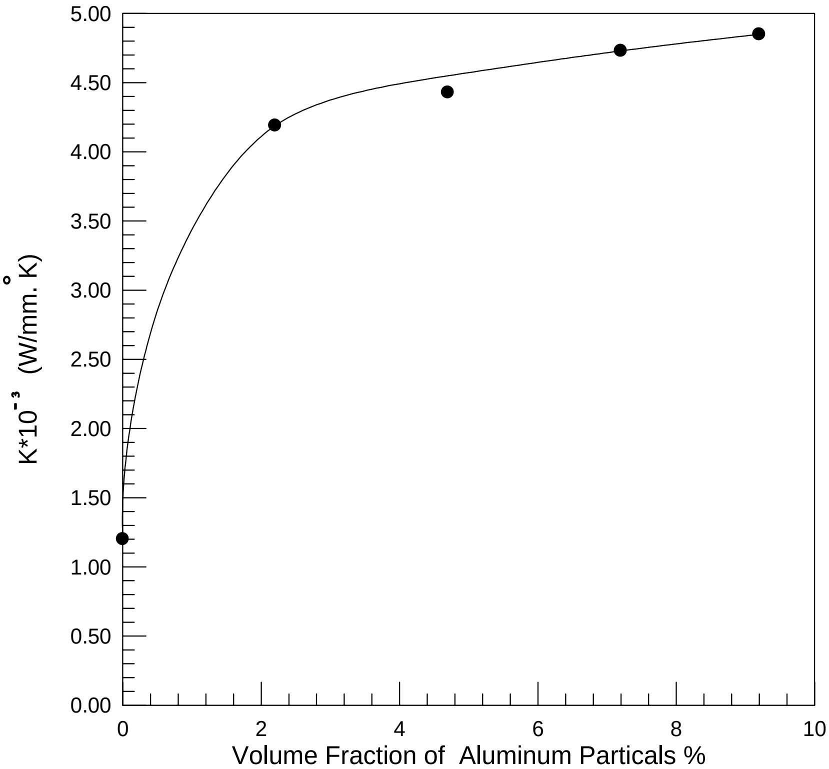
جدول رقم (1) خواص المواد المستخدمة

النموذج	البولي أستر غير المشبع	الألمنيوم (غبار)	الألمنيوم (برادة)
1	100 %	0	0
2	97.8 %	2.2 %	2.2 %
3	95.3 %	4.7 %	4.7 %
4	92.8 %	7.2 %	7.2 %
5	90.8 %	9.2 %	9.2 %

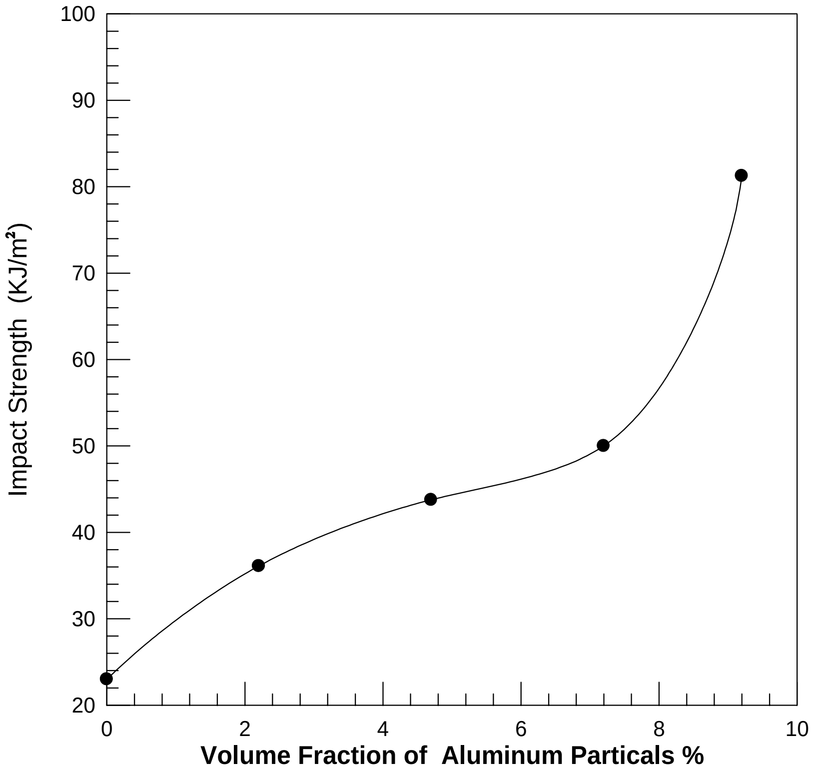
جدول رقم (2) نسب الكسر الحجمي للمادة المركبة



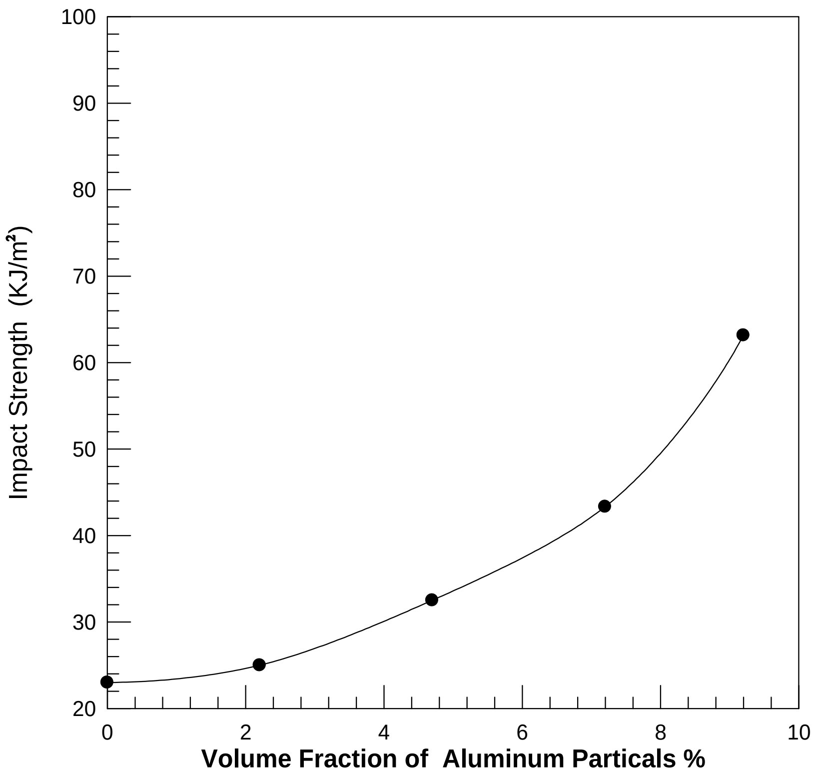
شكل رقم (4) يوضح تغير معامل التوصيل الحراري مع تغير الكسر الحجمي للمادة المركبة المقواة بدقائق ألمنيوم غبارية.



شكل رقم (5) يوضح تغير معامل التوصيل الحراري مع تغير الكسر الحجمي للمادة المركبة المقواة بدقائق ألمنيوم برادة.



شكل رقم (6) يوضح تغير مقاومة الصدمة مع تغير الكسر الحجمي للمادة المركبة المقواة بدقائق ألمنيوم غبارية.



شكل رقم (7) يوضح تغير مقاومة الصدمة مع تغير الكسر الحجمي للمادة المركبة المقواة بدقائق ألمنيوم برادة.