

Determination of the properties of unsaturated polyester resin composites reinforced by hollow glass microspheres to use it as untraditional building material

Ali Kadhemi Mahdi

Ministry of Science and Technology.

Mustafa Zaid Abdullah Aziz. 

Ministry of Science and Technology.

Email: mustafazaid25@yahoo.com

Received on: 11/2/2014 & Accepted on: 4/12/20 14

ABSTRACT

A light weight composite is fabricated by adding hollow glass microsphere (HGM) as a reinforcement material to the matrix which is unsaturated polyester resin. Different volume fractions of (HGM) from (30%) to (70%) are used. (HGM) are chosen because of their smooth glass surfaces that enable them to be mixed uniformly through out the resin matrix. The study shows that the resultant composite has enough hardness value and can be molded in Templates and worked easily. The low density of the composite which is only (0.62 gm/cm³) with high compressive strength and low thermal conductivity coefficient make it suitable to be used as untraditional, low cost building material, in addition to repair surfaces and antiquities.

Keyword :- (Hollow glass microsphere composite, (HGM) polyester resin , light weight composite , Particles reinforcement composite ,(HGM) for high strength composite)

تحديد مواصفات متراكب بولي استر رزن غير مشبع مدعم بالكرات الزجاجية خفيفة الوزن لاستخدامه كمادة بناء غير تقليدية

الخلاصة

تم تصنيع متراكب بوليمري خفيف الوزن من إضافة الكرات الزجاجية الدقيقة المجوفة (HGM) كمادة تدعيم إلى راتنج البوليستر غير المشبع كمادة أساس، بكسور حجمية مختلفة من (30%) إلى (70%). وقد تم اختيار الكرات الزجاجية لأنها خفيفة الوزن وذات سطح زجاجي أملس يمكن خلطها بسهولة مع المواد البوليمرية. وقد بينت الدراسة إن المتراكب الناتج له صلابة جيدة ويمكن صبه في قوالب بالإضافة الى امتلاكه قابلية تشغيل جيدة. كما

<https://doi.org/10.30684/etj.33.1B18>

2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq

This is an open access article under the CC BY 4.0 license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

يمتاز بكثافة منخفضة تبلغ (0.621 gm/cm³) ومقاومة انضغاط عالية مع معامل توصيل حراري منخفض تجعل من الممكن استخدامه كمادة بناء غير تقليدية ذات كلفة مناسبة بالإضافة الى امكانية استعماله في تصليح الشقوق وترميم الآثار.

على مادة التدعيم ، ولمتانة المادة الأساس تأثير مهم على متانة المواد المترابطة الدقائقية وذلك خلال عدة ميكانيكيات أهمها: انحراف الشق (Crack Bowing) والانفصال ما بين طور المادة الأساس والطور الدقائقي (Debonding) وحدث الشقوق المايكروية (Micro cracking)، في اغلب الأحيان تكون المادة الأساس مفتاحاً لتدعيم المواد المترابطة وذلك خلال محافظتها على مواد التدعيم من الظروف الجوية المختلفة ، ومطيلية المادة الأساس تعد مصدراً مهماً لمتانة المادة المترابطة حيث ان الأنظمة ذات المتانة العالية تستعمل مع الحشوات الدقائقية لتعطي مواد مترابطة دقائقية ذات متانة عالية (High Toughness) [8].

● المواد المترابطة المدعمة بالدقائق (Particulate Composites)

هذا النوع من المواد المترابطة يتضمن نوعاً واحداً من الدقائق أو أكثر في المادة الأساس. والدقائق وفي مختلف انواعها المعدنية منها وغير المعدنية ومن خلال تعريف المادة المترابطة فهي لا ترتبط كيميائياً مع المادة الأساس . وهناك عدة عوامل تؤثر في خواص هذه المواد منها: الحجم الحبيبي، والشكل، والكسر الحجمي، وتوزيع الدقائق حيث أن كل هذه العوامل تساهم في السيطرة على خواص المنتج النهائي ، تختلف المترابكات المدعمة بالدقائق عن تلك المدعمة بالألياف أو الطبقات أو القشور في توزيع المضافات ، إذ ان توزيع الدقائق يكون عشوائياً أكثر مما هو منظم . لذلك فإن المترابكات الدقائقية تمتلك خواص موحدة (متماثلة) في جميع الاتجاهات (Isotropic) ، وإن شكل الأطوار الدقائقية يكون مقارباً الى الكروي (Spheres) أو الأسطواني (Cylinders) ، مديات الحجم في المواد المترابطة المدعمة بالدقائق تتراوح ما بين الأبعاد المايكروية (Micro) الى الأبعاد الماكروية (Macro) والنانوية (Nano). ان الشكل والحجم والتوزيع لدقائق التقوية تمثل خصائص الدقائق بينما الاتجاهية والتركيز تمثل مميزات النظام، فنرى أن الحجم وتوزيع الدقائق يعدان متغيرات مهمة لأنهما المسيطران الأساسيان على بنية المواد أو تكوين المواد وهذه المتغيرات مع الكسر الحجمي تحدد المنطقة البيئية التي تؤدي دوراً كبيراً في تحديد مقدار التفاعل بين الطور الدقائقي (الطور الثانوي) والطور المستمر، ان العديد من المواد البوليمرية مثل الأيبوكسي والبولي أستر تظهر سلوكاً هشاً مما يحد من استعمالها في التطبيقات العملية المعرضة للكلال أو الكسر، وان هذه المواد تصبح ذات مقاومة لنمو الشقوق عند إضافة مواد دقائقية والتي يطلق عليها في بعض الأحيان الحشوات (Fillers) [7].

● الكسر الحجمي للدقائق (Volume Fraction of Particles)

التغير في الكسر الحجمي يقود الى تحسين الخصائص الميكانيكية للمترابكات الدقائقية، إذ ان مقاومة الأنحاء والمرونة تعتمدان على الكسر الحجمي للحشوة. أما محتوى الحشوة الأمثل فيعتمد على : التطبيق للمادة المترابطة ، والخصائص المرغوب بها للمنتج النهائي وحجم الدقائق الحشوية ونوع المعاملة السطحية ، إن تأثير زيادة الكسر الحجمي للحشوات على معامل المرونة للمادة المترابطة هو الآن مؤشر جيد في الأدبيات لمدى واسع من الراتنجات والمواد الحشوية ، كذلك تم تأكيد أن هناك علاقة وثيقة بين محتوى الحشوة والخصائص الفيزيائية للمادة المترابطة [8].

الجانب العملي

المواد المستخدمة

1. المادة الأساس :- المادة الأساس (Matrix) المستخدمة في هذا البحث هي راتنج البوليستر غير المشبع وهو احد الراتنجات المتصلدة بالحرارة وهو ذو منشأ سعودي (الشركة السعودية الصناعية المحدودة (Siropol (8341))، وهو راتنج شفاف ذو لون اصفر وكثافة مقدارها (1.2 gm/cm³) ولزوجته مقدارها (500 cp) يضاف المصلد اليه بنسبة (2:100) ويحدث بينهما التفاعل عند درجة حرارة الغرفة وهو احد تفاعلات الاضافة (Addition reaction).
2. المادة المدعمة :- المادة المدعمة المستخدمة في هذا البحث هي كرات زجاجية دقيقة ومجوفة وذات كثافة مقدارها (0.2 gm/cm³) وتتراوح اقطارها (10 – 200 µm) وبمعدل انصاف اقطار مقداره (75 µm)

وتكون على شكل مسحوق ابيض اللون ومعدل قوة السحق مقداره (1800 psi) والمصنعة من قبل شركة (Eager polymers) وبتركيب كيميائي وتدرج حجمي كما مبين بالجدول (1).

تحضير النماذج

- تم تحضير نماذج مترالكب (بوليستر - كرات زجاجية) ضمن الخطوات الآتية:
- (1) تهيئة القوالب : تم تصنيع قوالب خاصة من مادة النحاس على شكل قرص قطره (5 cm) وتم تنظيفه وتجفيفه ولضمان عدم التصاق الراتنج تم طلاء السطح الداخلي للقالب بمادة مزيتة.
 - (2) تم اضافة الكرات الزجاجية المجوفة (HGM) الى راتنج البوليستر بكسور حجمية مختلفة (, 40% , 30% , 70% , 60% , 50%) بالاضافة الى تحضير عينة راتنج بوليستر غير مدعم وذلك بالاعتماد على العلاقات الآتية[9]:
 - (3)

$$\Psi = \frac{w_f}{w_c} \times 100\% \quad \dots(1)$$

$$w_c = w_f + w_m \quad \dots(2)$$

$$\phi = \frac{1}{1 + \frac{1 - \Psi}{\Psi} \cdot \frac{\rho_f}{\rho_m}} \quad \dots(3)$$

حيث ان :

Ψ :- النسبة الوزنية لمادة التدعيم في المادة المتراكبة .

w_c, w_m, w_f : وزن المادة المتراكبة والمادة الأساس والحشوة على التوالي .

ρ_m, ρ_f : كثافة المادة الأساس والحشوة على التوالي ، ϕ : الكسر الحجمي لمادة التدعيم في المادة المتراكبة.

- (4) صب النماذج : استخدمت تقنية القولية اليدوية في عملية تحضير النماذج حيث تم خلط راتنج البوليستر مع المصلد بصورة تدريجية لضمان عدم تكون فقاعات باستخدام قضيب زجاجي ثم تم اضافة الكرات الزجاجية الى الخليط وبصورة تدريجية من اجل عدم تكثف الكرات الزجاجية وللحصول على افضل انتشار وترطيب للكرات الزجاجية داخل المادة المتراكبة وتتم عملية الخلط برفق من اجل ضمان عدم تكسر الكرات الزجاجية لحين الوصول الى افضل تجانس ثم صب الخليط في القالب للحصول على قرص منتظم الابعاد.
- (5) بعد اتمام عملية الصب تترك العينات لمدة (24 ساعة) من اجل التصلب الابتدائي وبعدها يتم اخراج العينات من القوالب ثم تتبعا عملية معالجة (Curing) وذلك بوضعها في الفرن عند درجة حرارة (60 °C) ولمدة ساعتين وذلك من اجل اتمام التفاعلات الكيميائية والتخلص من الاجهادات الداخلية.
- (6) بعد مرور (7 ايام) من التصلب الابتدائي قطعت القوالب الخاصة بالفحوصات كافة وحسب المواصفة القياسية لكل اختبار ثم اجريت عملية التنعيم والصلق باستعمال أوراق كاربيد السليكون بدرجات نعومة مختلفة والمثبتة في جهاز دوار.

الاجهزة المستخدمة

يتضمن هذا الجزء أستعراضاً لمجموعة الأجهزة الخاصة بالأختبارات التي تم اجرائها في هذا البحث وطريقة الفحص فيها وكما يلي:

1. جهاز اختبار مقاومة الانضغاطية (Compressive strength test instrument)

تم اجراء اختبار الأنضغاطية لحساب مقاومة الأنضغاط وحسب المواصفة العالمية (ASTM-D695) [7] للعينات المستعملة في هذا البحث وذلك بأستعمال جهاز مقاومة الانضغاط نوع (Tinius Olsen) ، تم تثبيت العينات على قاعدة متحركة في الجهاز، بعدها تم رفع هذه القاعدة بواسطة ذراع موجود في الجهاز الى الأعلى

لحين تماس سطح العينة مع السطح الأعلى للجهاز ، بعدها يتم تسليط الحمل بصورة تدريجية على العينة ويتم ذلك من خلال جهاز الكومبيوتر المرتبط بجهاز فحص الانضغاط لحين حدوث الفشل في العينة (Deflection) حيث يمثل أقصى حمل مسلط قيمة مقاومة الانضغاط لحدوث الفشل ، حيث يمكن حساب مقاومة الانضغاط من المعادلة الآتية [9].

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (4)$$

حيث ان:-

(σ) : اجهاد الانضغاط (N/mm^2) ، (F): القوة المسلطة (N) ، (A) : المساحة المسلط عليها الحمل (mm^2).

2. جهاز اختبار الصلادة (Hardness test instrument)

تم اجراء اختبار صلادة برينيل (Brinell hardness) وحسب المواصفة العالمية (ISO-179) لحساب مقدار مقاومة سطح المواد المحضرة في هذا البحث لقوى الاختراق او الخدش او الحك [7] ، حيث تم اجراء اختبار الصلادة باستخدام الجهاز المصنع من قبل (Indentec hardness testing machines Ltd./ England) نوع (Type: 6187.5 LK) ، ويتم ذلك من خلال اختراق كرة فولاذية لسطح المادة بحمل وزمن محدد وبعدها يتم رفع الكرة الفولاذية وقياس قطر الاثر على سطح المادة ، وتحسب صلادة برينيل من المعادلة الآتية [9]:

$$H.Br = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots (5)$$

حيث ان :

(F): الحمل المسلط (N) ، (D): قطر الكرة (mm) ، (d): قطر الأثر في الأنموذج (mm).
حيث يمثل (D) قطر الكرة الفولاذية المثبتة بحامل مناسب والمسلط على عينة الاختبار ويقاس قطر الأثر الدائري (Circular Indentation) المتروك على سطح العينة بعد إزالة الحمل باستعمال عدسة مجهرية مدرجة.

3. جهاز اختبار الموصلية الحرارية (Thermal conductivity test instrument)

تم استعمال جهاز قرص لي (Lee's Disc) المصنع من قبل شركة (Griffen & George) حيث تم تقطيع العينات حسب متطلبات الجهاز المستخدم في الفحص وفيه يمكننا حساب معامل التوصيل الحراري لجميع النماذج المحضرة في البحث وفيه يتم انتقال الحرارة من المسخن الى القرص الذي يليه حتى يصل الى القرص الأخير، وبالإمكان تحديد درجة الحرارة للأفراس الثلاثة (T_A, T_B, T_C) بأستعمال المحارير الموضوعة داخلها على التوالي . وبالإعتماد على حساب كمية الحرارة المارة خلال عينة من المادة قيد الاختبار يتم حساب قيمة معامل التوصيل الحراري (K) من المعادلة الآتية[9]:

$$\left[T_{A+} \frac{2}{r} \left(d_A + \frac{1}{4} ds \right) T_A + \frac{1}{2r} ds T_B \right] e = \left[\frac{T_B - T_A}{ds} \right] K \dots \dots \dots (6)$$

حيث ان:

(e) : تمثل كمية الطاقة الحرارية المارة عبر وحدة مساحة القرص لكل ثانية ($W/m^2.k$) وتحسب من العلاقة الآتية[7]:

$$IV = \pi r^2 e (T_A + T_B) + 2\pi r e \left[d_A T_A + ds \frac{1}{2} (T_A + T_B) + d_B T_B + d_C T_C \right] \dots (7)$$

حيث ان:

(T_A, T_B, T_C) : درجة حرارة الأقراص C,B,A على التوالي، (d): سمك القرص (mm)، (I): التيار المار
 (Ampere)، (V): الفولتية المجهزة (Volt)، (r): نصف قطر القرص (mm).

النتائج والمناقشة

• نتائج قياس الكثافة

قد تم قياس الكثافة للمواد المترابكة المحضرة بطريقة الوزن حيث تم استخدام ميزان رقمي حساس لوزن النماذج في الهواء والماء المقطر، وقد تم استخدام المعادلة الآتية لحساب الكثافة:-

$$\rho = m_{sa} \cdot \rho_w / m_{sa} - m_{sw} \dots \dots \dots (8)$$

حيث ان:-

(m_{sa}) :- وزن النموذج في الهواء (gm)، (m_{sw}) :- وزن النموذج في الماء المقطر (gm)، (ρ_w) :- كثافة الماء
 (gm/cm³).

وكما هو متوقع فان زيادة الكسر الحجمي للكرات الزجاجية في المترابك تؤدي الى تقليل قيمة الكثافة كما مبين في الجدول (2) حيث نلاحظ ان قيمة الكثافة تنخفض الى النصف (50%) عند الكسر الحجمي (70%) من الكرات الزجاجية حيث كانت قيمة الكثافة (0.621 gm / cm³) وكما موضح في الشكل (1).
 تميزت جميع النماذج المدعمة بالكرات الزجاجية بخفة الوزن وانها تمتلك كثافة اقل من كثافة الماء (اي انها تطفو عند غمرها بالماء).

بالاضافة الى ذلك تم حساب مقدار الكثافة للطابوق العراقي المستخدم في البناء من اجل المقارنة حيث امتلك كثافة مقدارها (1.775 gm/cm³) وهي كثافة عالية جدا بالمقارنة مع كثافة المواد المحضرة وكما موضح بالشكل (2)، حيث تم في هذا البحث خفض الكثافة بمقدار (65%) بالمقارنة مع الطابوق العراقي المستخدم في البناء ، حيث يمكن استخدام هذه المواد كمادة بناء غير تقليدية ذات مواصفات متميزة.

• نتائج اختبار التوصيلية الحرارية

لقد تم اجراء هذا الاختبار لجميع النماذج المحضرة وبكسور حجمية مختلفة من الكرات الزجاجية (Hollow glass) كمادة مدعمة. طبقت العلاقتان (6) ، (7) لحساب قيم معامل التوصيل الحراري (K) والجدول (3) يستعرض تلك القيم.

يلاحظ بان جميع النماذج المحضرة بصورة عامة امتلكت معاملات توصيلية حرارية واطنة اذ حقق راتنج البوليستر (Polyester resin) غير المدعم أعلى قيم لمعامل التوصيل الحراري بالمقارنة مع النماذج المدعمة بكسور حجمية مختلفة من الكرات الزجاجية ،حيث ادى التدعيم بالكرات الزجاجية الى خفض معامل التوصيل الحراري ولجميع النماذج المدعمة ومع الزيادة بالكسر الحجمي للكرات الزجاجية ينخفض معامل التوصيل الحراري بصورة ملحوظة اذ سجلت المادة المدعمة بكسر حجمي (70%) أوطاً معامل توصيل حراري كما في الشكل (3) الذي يبين العلاقة بين معاملات التوصيل الحراري لجميع النماذج المحضرة ، اذ يمكن استخدام هذه المواد في التطبيقات التي تتطلب عزل حراري عالي ويمكن تفسير ذلك كالآتي:-

ان التوصيلية الحرارية تعتمد على البنية التركيبية للمادة ونمط التوزيع للاطوار حيث ترتبط بشكل وثيق بالتوصيلية الحرارية لكل طور [9]، اي ان التوصيلية الحرارية بصورة عامة هي مجموع المركبة الالكترونية والشبكية ففي المواد الموصلة تكون المركبة الالكترونية اكبر بكثير من المركبة الشبكية اما في المواد العازلة تعتمد التوصيلية الحرارية على المركبة الشبكية (الفونونات) [10] ، هذا ما يفسر امتلاك راتنج البوليستر غير المدعم أعلى معامل توصيل حراري وذلك لانه مادة عازلة مكونة من طور واحد فالحرارة تنتقل بسهولة بشكل موجات مرنة ضمن بنية راتنج البوليستر بالمقارنة مع انتقالها عند اضافة الكرات الزجاجية حيث سوف تكون هناك اعاقلة لحركة ومرور هذه الموجات لانها سوف تمر بعدة اطوار مختلفة ضمن المادة المترابكة (طور المادة البوليمرية والمادة السيراميكية

والسطح البيني والفجوات) لذلك فان انتقال الطاقة الحرارية بهيئة موجات مرنة تكون عملية صعبة ومعقدة بسبب وجود انقطاع في البنية والتحول من بنية الى اخرى اي ان الموجة تخسر جزء من طاقتها عند الانتقال بين هذه الاطوار المختلفة ، وهذه العازلية تزداد بزيادة الكسر الحجمي للكرات الزجاجية اي زيادة الحواجز والمعوقات امام انتقال الموجات المرنة مما يزيد عازلية المواد المتراكبة المحضرة [11]، امتلكت المادة المدعمة بكسر حجمي (70%) أوطاً معامل توصيل حراري ($0.001925 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) بالنسبة لجميع النماذج المحضرة ، حيث ان الكرات الزجاجية تكون مجوفة مما يؤدي الى زيادة الوسط الغازي العازل وانخفاض الكثافة، اذ ان التوصيلية الحرارية للمواد الصلبة اكبر مما هو عليه في المادة السائلة واكبر ما يقارب اربع اضعاف التوصيلية الحرارية للمادة الغازية وهذه الطبيعة ناتجة من الفرق بين الفراغات الجزئية للحالتين حيث ان أردأ انواع الموصلات الحرارية هي الغازات [12] . بالإضافة الى ذلك تم حساب قيمة معامل التوصيل الحراري (K) للطابوق العراقي ومقداره ($0.005192 \text{ W/cm}^\circ\text{C}$) ، من ذلك يتضح بان جميع النماذج المحضرة في هذا البحث تمتلك معاملات توصيل حراري واطنة جدا بالمقارنة مع معامل التوصيل الحراري للطابوق العراقي وكما موضح بالشكل (4) ، حيث تم خفض معامل التوصيل الحراري في هذا البحث بنسبة (25%) بالمقارنة مع المادة غير المدعمة بالكرات الزجاجية وبنسبة (63%) بالمقارنة مع الطابوق العراقي، وهذا مما يجعل هذه المواد ذات اهمية كبيرة في مجال العزل الحراري وتوفير الطاقة عند استخدامها كمادة بناء غير تقليدية او في تطبيقات اخرى تحتاج الى عزل حراري عالي.

● نتائج اختبار مقاومة الانضغاطية

بصورة عامة ان المواد الهشة تكون ذات مقاومة انضغاط اكبر من مقاومة الشد وذلك لان في حالة الشد سوف يعمل على انتشار الشقوق الدقيقة داخل المادة التي تكون متجمعة بصورة عمودية على محور السحب وذلك يعمل على فشل المادة بسرعة [13].

يعد السلوك الانضغاطي للمواد المتراكبة من الخواص الميكانيكية المهمة التي اهتم بدراستها العديد من الباحثين، بصورة عامة اظهرت قيم مقاومة الانضغاط التي تم حسابها باستخدام العلاقة (4) وكما مبين في الشكل (5) والجدول (4) الذي يستعرض قيم مقاومة الانضغاط للنماذج المحضرة ان البولي استر غير المدعم بالكرات الزجاجية أظهر أعلى قيمة لمقاومة الانضغاط ثم تلتها المادة المتراكبة المدعمة بكسر حجمي مقداره (30%) وان هذه القيمة تنخفض بزيادة الكسر الحجمي للكرات الزجاجية حيث اظهرت المادة المتراكبة المدعمة بكسر حجمي (70%) اوطاً مقاومة انضغاط ويرجع ذلك الى ان متانة اي مادة متعلقة وبصورة اساسية بوجود العيوب التي تحتويها المادة ، حيث ان الكرات الزجاجية تكون مجوفة (Hollow Glass) وان هذه الفجوات داخل المادة المتراكبة تكون نقاط ضعف ومناطق لتركز الاجهادات اثناء فحص الانضغاطية ومن ثم حدوث الفشل ، اذ ان متانة المواد المتراكبة يمكن السيطرة والتحكم بها وذلك عن طريق السيطرة على خصائص بداية نمو العيب (Flaw-Initiation Characteristics) (انه في حالة اجهاد المواد المطيلية ، فان شقا مايكروياً (Micro) يبدأ بالنمو ثم يتقدم بالنمو في وضع مستقر، هذه الشقوق المايكروية تتحد مجتمعة لتكون شقاً ماكروياً (Macro) والذي عند مستويات اجهاد حرجة يصبح غير مستقر، هذه اللاستقرارية عند مستويات اجهاد عالية حول الشق تقود الى هيئة وشكل كسر الفشل ، في حالة المواد الهشة فان استقرارية الشقوق المايكروية تكون محدودة، وهذه الحالة هي واحدة من الاسباب التي تؤثر في استيعابية المواد الهشة لمقاومة نمو الشق [14].

بالإضافة الى ذلك فان الزيادة بالكسر الحجمي للكرات الزجاجية يؤدي الى انخفاض مقاومة الانضغاط ، حيث ان زيادة عدد الفجوات داخل المادة المتراكبة يؤدي الى زيادة عدد النقاط المساعدة على حدوث الفشل التي ربما تلتقي مع بعضها وتؤدي الى الاسراع بحدوث الفشل، فقد وصف الباحث (Rosen) حالتين نظريتين للفشل الانضغاطي تمثلت بنمط الانبعاج (Buckling Mode) ونمط القص (Share Mode) الذي ينمو عبر الطبقات الداخلية ضمن المادة المتراكبة مما يؤدي الى حصول الفشل بشكل متتابع نتيجة زيادة تشوه القص . وقد أوضح الباحث نفسه ان احد اسباب حصول هذا النوع من الفشل يعود الى وجود العيوب في المادة التي تشكل مناطق لتركيز الاجهاد [15,16].

على الرغم من ان مقاومة الانضغاط تنخفض عند زيادة الكسر الحجمي للكرات الزجاجية الا ان جميع النماذج المحضرة امتلكت مقاومة انضغاط عالية جدا بالمقارنة مع مقاومة الانضغاط للطابوق العراقي المستخدم في البناء، حيث امتلك الطابوق العراقي مقاومة انضغاط مقدارها (7.9 MPa) بينما كانت اوطاً مقاومة انضغاط للنماذج المحضرة مقدارها (32.1 MPa) للنموذج الذي يتضمن (70%) من الكرات الزجاجية وكما موضح في الشكل (6). لذلك يمكن ان تستخدم هذه المواد كمادة بناء غير تقليدية حيث تمتلك مقاومة انضغاط عالية جدا وخفيفة الوزن بالإضافة الى انها تتميز بقابلية تشغيلية عالية (مقاومة للحفر او الثقب).

● نتائج اختبار الصلادة

من ملاحظة الشكل (7) والجدول (5) الذي يوضح قيم الصلادة لراتنج البولي استر قبل وبعد التدعيم بالكرات الزجاجية وبكسور حجمية مختلفة، بينت النتائج ان البولي استر غير المدعم حقق اعلى قيمة للصلادة بالمقارنة مع النماذج المحضرة وان هذه القيمة تنخفض عند التدعيم بالكرات الزجاجية ويزداد هذا الانخفاض بزيادة الكسر الحجمي للكرات الزجاجية ويمكن تفسير ذلك كالآتي:-

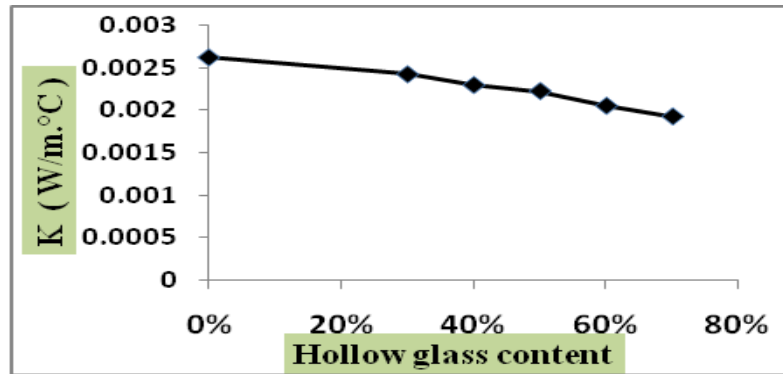
من مفهوم الصلادة يمكن عدها مقياسا للتشوه اللدن الذي يمكن ان يعاني منه سطح المادة تحت تأثير اجهاد خارجي وبذلك فان اضافة الكرات الزجاجية ادى الى خفض صلادة المادة نتيجة لانخفاض مقاومتها للتشوه [7] ، حيث ان الكرات الزجاجية تكون مجوفة اي تؤدي الى تكوين فجوات داخل المادة مما يقلل من مقاومة المادة للتشوه اللدن، وهذا يتفق مع ما جاء به الباحثان (Kausch and Moloney) الى عدم امتلاك مثل هذه الحشوات المتانة الكافية لتكون فعالة في زيادة صلادة المادة المترابكة، اذا ان الكرات نفسها تكون كنفق ضعيف على سطح المادة مما يؤدي الى خفض الصلادة [8] ، حيث يعمل مثل هذا النوع من الحشوات على زيادة الفراغات والفجوات بين السلاسل البوليمرية وزيادة الهياكل المختلفة لجزيئة البوليمر في حالتها الحرة ومن ثم يؤدي الى زيادة حركتها وانخفاض الصلادة [17] ، ففي حالة البولي استر غير المدعم فان سطح العينة ونعومتها والترابط بين الذرات والجزيئات يكون اكبر حيث ان الصلادة تعتمد بصورة رئيسية على طبيعة السطح فكلما كان الترابط والتماسك على السطح كبير ازدادت صلادة المادة [18].

عند اجراء هذا الاختبار لوحظ تكون تصدعات (Crazes) على سطح المادة وهذه التصدعات ناتجة من تركيز الاجهادات حول الكرات التي تقود الى تكون الفجوات (Cavities) وتظهر بشكل تصدعات ، هذه التصدعات تعمل على تحرير الاجهادات (Stress releasers) مسببة نقصان في متانة المادة وهو ما جاء به الباحثان (Pand and sharma) ومن ثم سببا لنقصان الصلادة [14].

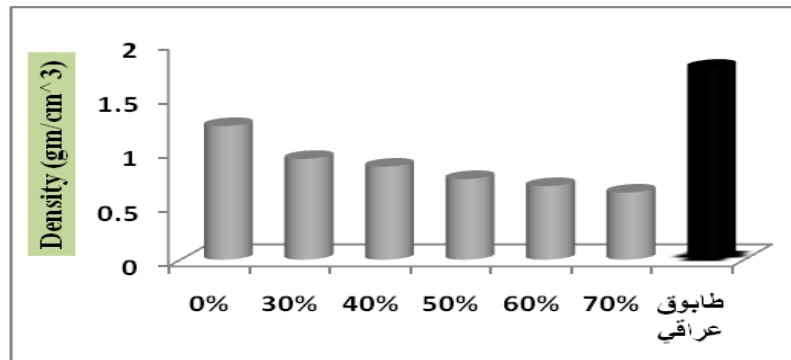
ومن الجدير بالذكر بانه على الرغم من ان الصلادة تتناقص مع زيادة الكسر الحجمي للكرات الزجاجية الا ان جميع النماذج المحضرة امتلكت قيم صلادة مرتفعة بالمقارنة مع قيم الصلادة لمواد متراكبة اخرى مدعمة بدقائق مختلفة وكما موضح في الجدول (6) [7] ، بالاضافة الى ذلك حققت النماذج التي تتضمن كرات زجاجية بنسب (0%،30%،40%) قيم صلادة اعلى من قيمة الصلادة للطابوق العراقي والتي مقدارها (177 MPa) وكما موضح في الشكل (8)، حيث تم في هذا البحث الوصول الى كسر حجمي عالي جدا (70%) الا ان الصلادة ظلت ذات قيم مرتفعة.

الاستنتاجات والتوصيات

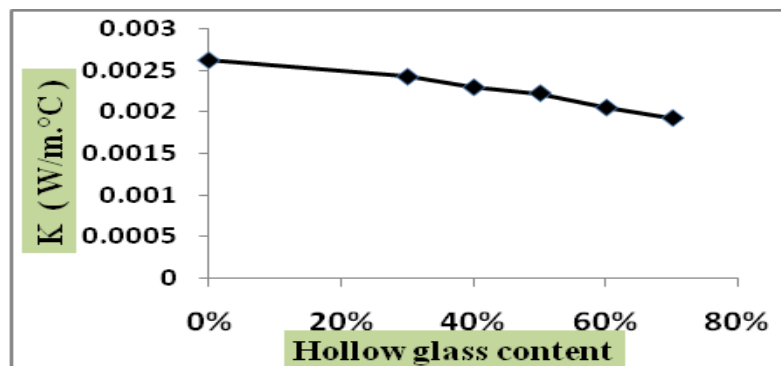
- 1- يمكن الاستفادة من المخلفات الزجاجية وذلك بتحويلها إلى كرات زجاجية دقيقة ومجوفة بعد طحنها وخلطها مع بعض المواد ومن ثم معاملتها حراريا [19].
- 2- يمكن استخدام الكرات الزجاجية في تصنيع متراكب خفيف الوزن وذلك بعد خلطها براتنج البوليستر.
- 3- تمتاز المواد المحضرة بكثافة منخفضة وعزل حراري جيد ومقاومة انضغاط وصلابة كبيرة تجعل ممكن استخدامه كمادة بناء غير تقليدية ذات كلفة مناسبة.
- 4- يتميز المتراكب المحضر بقابليته على التشغيل وإمكانية صبه في قوالب بالاضافة الى الخواص الميكانيكية الجيدة حيث يمكن استخدامه في تصليح الشقوق وترميم الأثار والعظام .



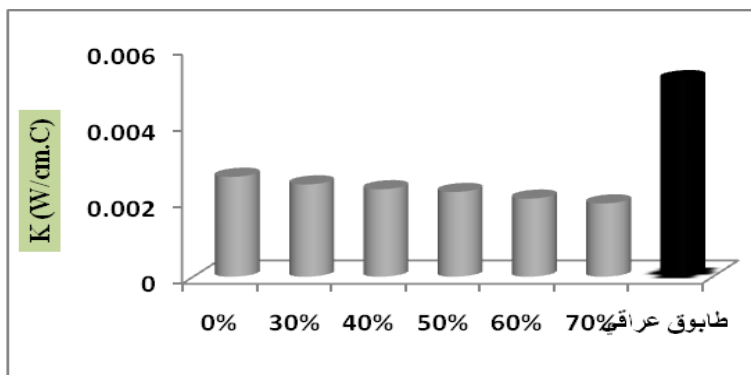
شكل (1) يبين العلاقة بين قيم الكثافة للنماذج المحضرة



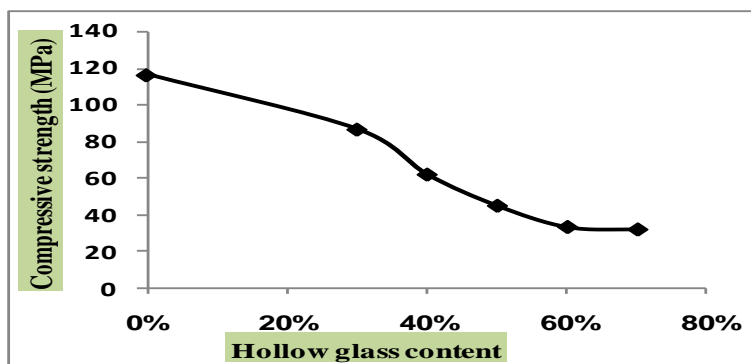
شكل (2) يبين المقارنة بين كثافة النماذج المحضرة والطابوق العراقي.



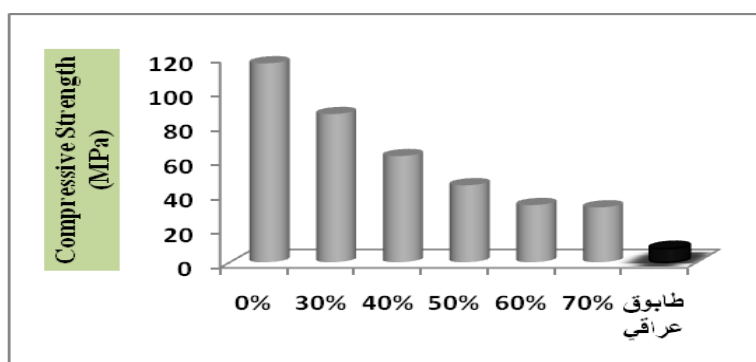
شكل (3) يبين العلاقة بين معاملات التوصيل الحراري للنماذج المحضر



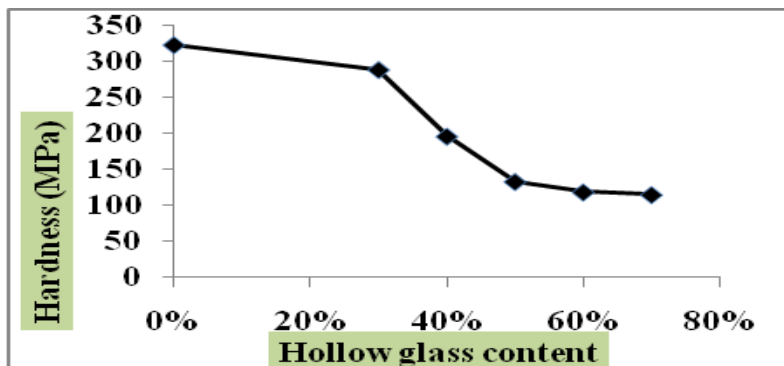
شكل (4) يبين المقارنة بين معامل التوصيل الحراري للنماذج والطابوق العراقي



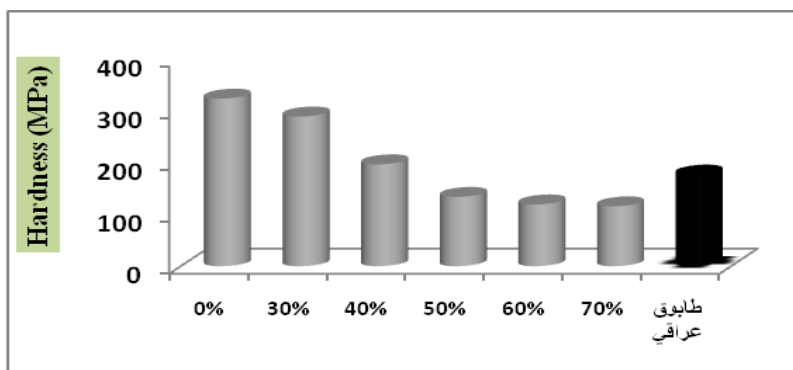
شكل (5) يبين العلاقة بين قيم مقاومة الانضغاط للنماذج المحضرة.



شكل (6) يبين مقارنة بين مقاومة انضغاط النماذج المحضرة والطابوق العراقي.



شكل (7) يبين العلاقة بين قيم الصلادة لجميع النماذج المحضرة.



شكل (8) يبين مقارنة بين قيم الصلادة للنماذج والطابوق العراقي

جدول (1) يبين التركيب الكيميائي والتدرج الحجمي للكرات الزجاجية [الشركة المصنعة].

Components	Wt(%)
SiO ₂	73
Al ₂ O ₃	17
K ₂ O	5
Na ₂ O	3
CaO	1
Volumetric gradient	
Mesh	(%)
+ 50	2
- 50+100	12
-100+200	33
-200+50	50

جدول (2) يستعرض قيم الكثافة للنماذج المحضرة.

Samples	Volume fraction of hollow glass	Density (gm/cm ³)
1	0 %	1.236
2	30%	0.932
3	40%	0.86
4	50%	0.746
5	60%	0.681
6	70%	0.621

جدول (3) يستعرض قيم معامل التوصيل الحراري للنماذج المحضرة.

Samples	Volume fraction of hollow glass	K (W/cm.°C)
1	0 %	0.002625
2	30%	0.002425
3	40%	0.002298
4	50%	0.002226
5	60%	0.002051
6	70%	0.001925

جدول (4) يستعرض قيم مقاومة الانضغاط للنماذج المحضرة.

Samples	Volume fraction of hollow glass	Force (N)	Compressive strength (MPa)
1	0%	17080	116.4
2	30%	13020	86.7
3	40%	9670	62.1
4	50%	7080	45.05
5	60%	6068	33.45
6	70%	5588	32.1

الجدول (5) يستعرض قيم الصلادة للنماذج المحضرة.

Samples	Volume fraction of hollow glass	Hardness (MPa)
1	0 %	323.61
2	30%	289.12
3	40%	196.72
4	50%	133.87
5	60%	119.25
6	70%	115.66

الجدول (6) يستعرض قيم الصلادة لمواد متراكبة مختلفة [7].

Matrix material	Volume fraction	Filler type	Hardness (MPa)
Unsaturated Polyester	0%	Silicon	95
	10%	Carbide Particles	113
	20%		130
	30%		145
Unsaturated Polyester	0%	Commercial aluminum oxide Particles	95%
	10%		107%
	20%		115%
	30%		125%
Epoxy	0%	Glass powder particles	161
	30%		254
Epoxy	20%	Black carbon particles	140

المصادر

- [1]. R.M.Jones, " Mechanics of composite Materials", Scripta Book Compony, NewYork , (1975).
- [2]. A.B.Owen , " Direct Observations of debonding at crack tips in glass bead - filled epoxy ", Journal of Materials Science , Vol.14 , No.10 , p.p. (2521 - 2523) , October , (1979) .
- [3]. J.Matthew , P. Madison & R . Jensen , "Characterization of low density glass filled epoxies army research laboratory" , Aberdeen Proving Ground , March (2003).
- [4]. M.Sumita , T.Ookuma , K.Miyasaka & K.Ishikawa , " Effect of Ultra Fine Particles on the elastic properties of oriented Polypropylene composites " , Journal of Materials Science , Vol.17, No.10 , p.p. (2869 -2877) , October , (1982).
- [5]. C. Mrinal Saha , "Processing and performance evaluation of hollow microspheres filled epoxy composite", School of Aerospace and Mechanical Engineering, University of Oklahoma, (2008).
- [6]. Aare Aruniit, "Influence of hollow glass microsphere on the mechanical and physical properties and cost of particle reinforced polymer composites", Proceeding of the Estonian Academy of science, P.P (160-165), (2012).
- [7] مصطفى زيد عبدالله عزيز، "تحضير متراكبات هجينة ودراسة تأثير درجة الحرارة على بعض خواصها الميكانيكية والفيزيائية"، رسالة ماجستير، جامعة بغداد، (2009).
- [8]. A.C.Moloney , H.H.Kausch , T.Kaiser & H.R.Beer , " Review Parameters Determining the Strength & Toughness of Particulate Filled Epoxide Resins " , Journal of Materials Science , Vol.22 , p.p. (381 - 393) , (1987).
- [9]. C.A. Harper , "Modern Plastics Hand Book", McGraw-Hill companies ,Inc, New York, (2000).
- [10]. W. Callister , " material science and engineering, An introduction" , Third edition, John Wiley & Sons Inc,(1994).
- [11] ايناس محي هادي ، "دراسة الخواص الميكانيكية والحرارية للبولي استر غير المشبع والمدعم بدقائق

- سيراميكية" ، رسالة ماجستير ، الجامعة التكنولوجية ، (1999).
- [12]. S.Kulkarni , D.dha, C.Murthy & Kishore , " Analysis of filler - Fiber Interaction in Fly Ash Filled Short Fiber- Epoxy Composites Using Ultrasonic NDE " , Bulletin of Mterials Science , Vol.25 , No.2 , p.p. (137 - 140) , (2002).
- [13]. P.A.Thernton & V.J Colangelo , " Fundamental of Engineering Materials " , prentic - Hall , Inc (1985) .
- [14]. J.Pand & D.Sharma , " Fracture Toughness of Short Glass Fiber & Glass Particulate Hybrid Composites " , Fiber Science & Technology , Vol.21 , No.4 , p.p.(307 - 317) , (1984).
- [15]. C.R Chaplin , " Compressive Fracture in Undirectional glass - reinforced plastics " , Journal of Materials Science , Vol.12, No.2 , p.p.(347 - 352) , February , (1977).
- [16]. H.E.Davis , G.E.Troxell & G.F.W.Hauck , " The Testing " , 4th ed . , McGraw - Hill International Book Company , (1982).
- [17] د. اكرم عزيز محمد ، " كيمياء اللدائن " ، دار الكتب للطباعة و النشر ، جامعة الموصل ، (1993) .
- [18]. G.C.Ives , J.A.Mead & M.M.Riley , " HandBook of Plastics Test Method " , The Butter Worth Group , the Plastics Institute , (1971) .
- [19] علي كاظم مهدي وجماعته ، "دراسة ظروف تصنيع كرات زجاجية دقيقة ومجوفة تستخدم كعوازل" ، وزارة العلوم والتكنولوجيا ، دائرة بحوث المواد ، (2010) .