

تأثير إضافة مسحوق السليكا النانوي ومسحوق الالومينا النانوي وألياف الكربون القصيرة على الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لخليط الايبوكسي - البولي استر

البولي استر

حسنيه هادي ذنون البياتي¹، اياد عواد محمد الجبوري²

^{2,1} قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة كركوك، كركوك، العراق.

¹husnyia56@yahoo.com, ²Ayadawad1991md@gmail.com

الملخص

تم تحضير متراكبات بوليميرية من خليط بوليميري يتكون من الايبوكسي والبولي استر (EP95%, UPE5%) مع مواد التقوية المختلفة وهي مسحوق الالومينا النانوي بحجم حبيبي (30 nm) ومسحوق السليكا النانوي بحجم حبيبي (30 nm) وألياف الكربون القصيرة بكسر حجمي 15%. شملت هذه الدراسة إجراء بعض الاختبارات الميكانيكية المتمثلة في الشد، الصلادة، وكذلك إجراء بعض الاختبارات الفيزيائية والمتمثلة بالموصلية الحرارية، الموصلية الكهربائية (ثابت العزل). إن تقوية الخليط البوليميري بمسحوق السليكا النانوي ومسحوق الالومينا النانوي وألياف الكربون أدى إلى تحسين الخواص الميكانيكية للمتراكبات المحضرة في درجة حرارة المختبر، إذ أن قيمة معامل يونك (E) 36.1 MPa ومتانة الشد (T.S) 7.80MPa للخليط البوليميري (EP95%, UPE5%)، وان القيم تغيرت بعد التدعيم وأصبحت 114.5MPa، 16.61MPa للمتراكب (A1) و 601 MPa، 34.95 MPa للمتراكب (A2) و 394 MPa، 36.93 MPa للمتراكب (A3). لقد لوحظ أيضاً أن قيمة الصلادة للمتراكبات A1, A2, A3 هي أعلى من قيمة الصلادة للخليط البوليميري A. أما الصلادة للمتراكب A3 فكانت هي الأفضل. إما بالنسبة للموصلية الحرارية والموصلية الكهربائية (قياس ثابت العزل) حيث لوحظ أن الموصلية الحرارية زادت من 0.282W/m.°C إلى (0.321, 0.368, 0.518) W/m.°C للنماذج

1.127 ,1.137) إلى A (A1,A2,A3) على التوالي. أما ثابت العزل فقد تغيرت من 1.009 للخليط البوليمري A إلى (1.025, للنماذج (A1,A2,A3) على التوالي.

الكلمات الدالة: المواد المترابطة، الخواص الميكانيكية، راتنج الايبوكسي، راتنج البولي استر، الموصلية الحرارية، الالومينا، ألياف الكربون.

DOI: <http://doi.org/10.32894/kujss.2019.14.4.8>

Effect of Nano Silica Nano Alumina and Short Carbon Fiber Addition on Mechanical and Physical Properties of Blend Epoxy – Polyester

Husnyia H. Thanon Albyate¹ , Ayad Awad Mohammed Al jaboury²

^{1,2} Physics Department, the College of Education for Pure Sciences , University of Kirkuk ,
Kirkuk , Iraq.

¹husnyia56@yahoo.com, ²Ayadawad1991md@gmail.com

Abstract

Preparation blend Epoxy, Polyester (EP95% , UPE 5%) reinforced by nano silica (SiO₂) of grain sizes (30nm), Nano Alumina (Al₂O₃) of grain sizes (30nm) and short carbon fiber (C.F) With volume fraction 15%, for all prepared samples. Mechanical test (such as Tensile , Brinel hardness) was done in order to determine Tensile strength, young modulus, Tensile Fracture and physical test such as thermal and electrical (dielectric constant) in order to determine thermal conductivity and dielectric constant. The result shows that the addition of SiO₂, Al₂O₃ and C.F to the blend (EP+ UPE) enchanted the mechanical properties at normal condition, the young modulus (E) is 36.1 MPa, and Tensile strength (T.S) is 7.80 MPa for blend (UPE5% EP95%). But these values changed with reinforcing to become 114.5 MPa, 16.61 MPa for sample A1, 601 MPa, 34.95 MPa for sample A2 and 394 MPa, 36.93 MPa for sample A3 respectively. the results showed that the high values hardness was for sample A1, A2, A3 than blend A. and the high values hardness value was for sample A3. About the physical properties, It was found that the reinforcing with SiO₂, Al₂O₃ powder and short

carbon fiber Lead to increased thermal conductivity (K)from 0.282 W/m.^oC for A to (0.321, 0.368, 0.518) W/m.^oC for A1, A2, A3 respectively and while the dielectric constant (ϵ_r) decreased and with changed from 1.5 to (1.49 , 0.95 , 0.94) for A1, A2, A3 respectively.

Keywords: Composite Material, Mechanical Properties, Epoxy Resin, Polyester Resin, thermal conductivity, Alumina, Carbon Fibers.

DOI: <http://doi.org/10.32894/kujss.2019.14.4.8>

1. المقدمة:

تمتلك المواد المتراكبة البوليمرية مكانة مهمة بين المواد المتراكبة، لما تمتاز بيه من خصائص تتناسب العديد من التطبيقات الصناعية والإنشائية [1,2]. شهد النصف الثاني من القرن العشرين توسعا كبيرا في إنتاج واستعمال المواد المتراكبة البوليمرية على نطاق واسع حيث تدرجت استعمالاتها من الأدوات الرياضية إلى المواد الهندسية التي تستعمل في صناعات الفضاء والصناعات الحربية والنووية وغيرها من الصناعات المهمة. لأنها بدأت تكتسب قبولاً متزايداً في الصناعة نظراً لخصائص محددة تمتلكها، وبالتالي انتشر استخدامها لصناعة السيارات والقوارب والصناعات الكيماوية وصناعة الأثاث والصناعات منخفضة التكلفة، لأنها تمتلك خصائص (فيزيائية وميكانيكية) جذابة للمصنعين مثل خفة الوزن، متانة، ومقاومة للتآكل، ولهذا نلاحظ زيادة كبيرة في استخدام البوليمرات في الصناعات الحديثة أكثر من جيل المتراكبات المعدنية والسيراميكية [3]. كما تمتلك البوليمرات البلورية القوة العالية والاستطالة المنخفضة عند نقطة الكسر. فهناك العديد من البوليمرات التي تمتلك خصائص ممتازة تجعل ارتباطها مع المواد الأخرى ارتباطاً فريداً مما يعطي خواص جديدة للمواد الناتجة والتي تعرف بالمواد المتراكبة الهجينية (Hybrid Composite Material) [4].

من هذه الأنظمة نظام البولي استر كاربيد البورون حيث يمتلك هذا النظام مميزات تجعل ارتباطه يوفر خصائص ميكانيكية فريدة خاصة لرواد الفضاء الذين يمضون لمدة طويلة لاستكشاف الفضاء والذين يتعرضون للأشعة الكونية والإشعاعات النيوترونية الثانوية الناتجة عن إشعاعات الفضاء والتي تشكل خطراً كبيراً على رواد الفضاء خلال رحلات طويلة الأمد لاستكشاف الفضاء [5].

إن المواد المترابطة هي عبارة عن بناء مكون من مادتين أو أكثر ذات مواصفات مختلفة ترتبط مع بعضها بطريقة معينة لتعطي التراكيب المرغوب فيها وتكون ذات خصائص أفضل من خصائص المواد الداخلة في تكوينها فيما لو استخدمت بشكل منفرد [6,7]، تكون مواد التدعيم بشكل دقائق أو قضبان أو ألياف أو صفائح، وهي بذلك تجمع الخصائص الجيدة من مختلف المواد الداخلة في تركيبها علاوة على التخلص من العيوب الموجودة فيها لتكون أكثر ملائمة للتطبيقات الصناعية [8].

إن الهدف من البحث هو تصنيع مواد مترابطة من خليط الإيبوكسي والبولي استر المقوى بدقائق الألومينا والسيلكا النانوي وألياف الكربون ودراسة تأثير التدعيم بالدقائق والألياف ونسبها الوزنية على الخصائص الميكانيكية المتمثلة بالشد والصلادة ، والخواص الفيزيائية المتمثلة بالتوصيل الحراري والكهربائية (ثابت العزل الكهربائي)، ومن ثم إجراء مقارنة بين خصائص المترابكات البوليمرية المحضرة.

2. المواد المستخدمة في البحث:

2.1 راتنج الإيبوكسي (Epoxy Resin):

تم استخدام راتنج الإيبوكسي من نوع (Sikadur – 52) المنتج من شركة (Sika) التركية. وهو راتنج متوسط اللزوجة وكثافة 1.1 g/cm^3 عند درجة حرارة 20°C ، ويتحول هذا الراتنج إلى مادة بوليمرية صلبة بإضافة المصلد إلى الراتنج بنسبة (2:1)، ويحدث التفاعل بينهما عند درجة حرارة الغرفة.

2.2 راتنج البولي استر (Polyester Resin):

تم استخدام راتنج البولي استر غير المشبع كمادة أيضا في تحضير الخليط البوليمري، المنتج من قبل شركة سعودية (SIR)، وهو سائل شفاف وردي اللون ذي كثافة 1.25 g/Cm^3 عند درجة حرارة 25°C ، ويتحول الراتنج من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة وذلك بإضافة المصلد إلى الراتنج بنسبة (2%) ويحدث التفاعل عند درجة حرارة الغرفة، والمصلد عبارة عن مثيل اثيل كيتون بيروكساييد (Methyl Ethyl Keton Peroxide, MEKP).

2.3 ألياف الكربون (Carbon Fiber):

إن ألياف الكربون لها قوة عالية قطرها حوالي (7-8 μm) وتتكون من بلورات صغيرة من الجرافيت التوربيني (Turbostratic Graphite)، وهو أحد الأشكال المتأصلة للكربون تم استخدام ألياف الكربون المفروم من الطول حوالي (1 cm) والكثافة السطحية (1.8 g/cm^3) [9]، تمتلك ألياف الكربون العديد من المزايا منها: الخمولية حيث تمتلك مقاومة عالية ضد الرطوبة ولأغلب المواد الكيميائية الشائعة، موصلية كهربائية وحرارية عالية على طول محور الألياف وثبات الأبعاد وانخفاض التمدد الحراري المحوري [10].

2.4 مسحوق الالومينا (Al_2O_3):

مسحوق الالومينا النانوي وهو عبارة عن مسحوق ابيض وبحجم حبيبي مقداره (30 nm) ونقاوة (99.99%) ويمتلك كثافة مقدارها (3.89 gm/cm^3) وهو من منشأ صيني . الالومينا (Al_2O_3) هو من بين أقوى المواد السيراميكية، ومفيد في درجة الحرارة العالية، ولها قوة عازلة عالية في درجات الحرارة المرتفعة ومقاومة كهربائية ممتازة، وتتميز الالومينا أيضاً في قوة ميكانيكية عالية جداً وعالية الموصلية الحرارية، ومطيليه جيدة ومقاومة عالية للمواد الكيميائية والتآكل وارتفاع درجات الحرارة [11].

2.5 مسحوق السليكا (SiO_2):

تم استخدام مسحوق السليكا (SiO_2) والتي تعد من الأكاسيد السيراميكية بحجم حبيبي نانوي مقداره (30nm) ونقاوة (99.5%) صيني المنشأ وبكثافة مقدارها (2.25 gm/cm^2) كمادة تقوية للخليط البوليمري المحضر. وتعتبر السليكا (SiO_2) من أهم المواد الكيميائية اللاعضوية والتي تمتلك مساحة سطحية جيدة، وصلادة عالية متوفرة ورخيصة الثمن [12].

3. تحضير النماذج :

تم تحضير أربعة أنواع من النماذج وذلك بخلط الخليط البوليمري المكون من الايبوكسي EP (95%) والبولي استر غير المشبع UPE (5%) مع مواد التقوية المختلفة، مسحوق السليكا النانوي ومسحوق الالومينا وألياف الكربون القصيرة وإن مكونات و نسب مواد التقوية في كل نموذج موضح بالجدول أدناه :

جدول 1: يوضح نسب ومكونات المواد المترابطة المحضرة.

Symbols of Hybrid Composite	Percentage of each material in the hybrid composite
A	Blend(Epoxy 95%+UPE 5%)
A ₁	Blend 85% +(Nano SiO ₂ 7.5%+Nano Al ₂ O ₃ 7.5%)
A ₂	Blend 85% +(Carbon fiber 7.5% +Nano Silica 7.5%)
A ₃	Blend 85% + (Carbon fiber 7.5% + Nano Al ₂ O ₃ 7.5%)

استخدمت طريقة القوالب اليدوية (Hand Lay-Up Molding) في عملية تحضير النماذج وتم استعمال خليط راتنجي الايبوكسي والبولي استر كمادة أساس وهما بشكل سائل شفاف يتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة بعد إضافة مصلد كل واحد على حدة وخلطهم جيدا ويضاف الراتنج إلى مواد التقوية وبنسب كما موضح في الجدول أعلاه (1). وتم تحديد نسب الإضافة بالاعتماد على العلاقات [13]:

$$W_c = W_f + W_m \quad (1)$$

$$W\% = \frac{W_f}{W_c} \times 100\% \quad (2)$$

$$V_f = \frac{1}{1 + \frac{W_f}{W_m} \frac{\rho_f}{\rho_m}} \quad (3)$$

حيث إن :

W%: الكسر الوزني المئوي لمادة التقوية في المادة المترابطة.

W_c، W_m، W_f: وزن مادة التقوية والمادة الأساس والمادة المترابطة على التوالي.

ρ_m، ρ_f: كثافة مادة التقوية والمادة الأساس على التوالي.

V_f: الكسر الحجمي لمادة التقوية.

حيث يخلط بشكل جيد ثم تضاف في القالب ويتم وضع اللوح المعدني على المادة المحضرة وبعدها تترك لمدة 24 ساعة بهذا الوضع لإتمام عملية التصلب ثم فصل المترابك عن القالب ووضعه في الفرن لمدة ساعتان عند درجة حرارة 55 °C، ثم تقطع حسب المواصفات القياسية الخاصة بالفحوصات.

4. إختبارات الميكانيكية :

4.1 الشد:

تعد مقاومة الشد مقياسا لقابلية المادة على مقاومة القوى الساكنة التي تحاول سحب المادة وكسرها. أو هو عملية تجرى على قطعة اختبار لتعين خواصها تحت تأثير حمل شد محوري في اتجاه واحد. إذ ينطبق اتجاه الحمل على المحور الطولي للعينة. ويكون التحميل تدريجيا يبدأ من الصفر ويزداد حتى حدوث الكسر في العينة [14]. واختبار الشد يعد من أكثر الاختبارات شيوعا في الاستخدام، ويعتبر من أسهل الاختبارات الميكانيكية في إجراء فحصها ومن أسهلها في تحديد النتائج [15]. وتم إيجاد معامل يونك، متانة الشد، متانة الكسر ومطيليه المادة من خلال هذا الاختبار وبالاعتماد على العلاقات الآتية :

$$E = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L_0}} \quad (4)$$

حيث إن:

E: معامل يونك (N/m²)

F: الحمل المسلط (N) , A: مساحة المقطع العرضي (mm²) .

ΔL : التغير في الطول

L_0 : الطول الأصلي (mm)

أما ليونة المادة (Ductility) تعطى بالعلاقة الآتية :

$$\text{Ductility} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (5)$$

4.2 إصلادة :

إن الصلادة تعني مقياسا للتشوه اللدن الموضعي الذي تعاني منه المادة تحت تأثير الإجهاد الخارجي. تم إجراء اختبار الصلادة بطريقة برينل، في استخدام أداة غرز وهي عبارة عن كرة فولاذية صلدة قطرها (10 mm).

فبعد تسليط حمل مقداره (1.5 KN) لمدة (30 Sec) فيحصل غرز عند سطح النموذج بواسطة أداة الغرز من خلال حدوث تشوه لسطح العينة [16]. وتحسب صلادة برينل (H.Br) من المعادلة الآتية :

$$H Br = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (6)$$

حيث F: الحمل المسلط (N)، D: قطر أداة الغرز (m)، d: قطر الأثر على النموذج (m) .

5. الاختبارات الفيزيائية :

5.1 الموصلية الحرارية :

الحرارة نوع من أنواع الطاقة تنتقل من الموضع الساخن إلى الموضع البارد عن طريق التوصيل أو الحمل أو الإشعاع . من الجدير بالذكر أن انتقال الحرارة بالتوصيل أو الحمل يكون بطيء نسبة لانتقال الحرارة بالإشعاع . لأن سرعة الإشعاع هي بسرعة الصوت، لذا سوف نركز على انتقال الحرارة بالتوصيل لأن انتقال الحرارة بالحمل لا يحدث إلا بالسوائل والغازات [17]. يتم قياس الموصلية الحرارية بطرق عدة، إحدى هذه الطرق هي طريقة قرص لي وبالاعتماد على المعادلات التالية يتم حساب الموصلية الحرارية للمادة [18] :

$$K \left[\frac{T_A - T_B}{d_s} \right] = e \left[T_A + \frac{2}{r} \left[d_A + \frac{1}{4} d_s \right] T_A + \frac{1}{2} r d_s T_B \right] \quad (7)$$

حيث إن e : تمثل كمية الطاقة الحرارية المارة عبر وحدة المساحة من مادة القرص لكل ثانية ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) ويتم حسابها من العلاقة الآتية :

$$IV = \pi r^2 (T_A + T_B) + 2\pi r e \left[d_A T_A + d_s \frac{1}{2} (T_A + T_B) + d_B T_B + d_C T_C \right] \quad (8)$$

حيث ، (T_C, T_B, T_A) هي درجة الحرارة في كل قرص (A ، B ، C) على التوالي (dB, dC, dA) هي سماكة الأقراص النحاسية، (d_s) سماكة العينات ، r: نصف قطر كل قرص (mm) ؛ I: التيار المار من خلال سخان (Amp) ، V: الفولتية المجهزة (volt) ، d: سمك القرص (mm).

5.2 ثابت العزل :

يعرف ثابت العزل (السماحية النسبية) بأنه نسبة ثابت العزل بوجود المادة العازلة إلى ثابت العزل بدون وجود العازل ويستعمل ثابت العزل لتصنيف أنواع العوازل ويمكن حساب ثابت العزل من العلاقة الآتية [19] :

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (9)$$

حيث أن ϵ_r : السماحية النسبية , ϵ : سماحية المادة العازلة , ϵ_0 : سماحية الفراغ (F/m).

وبالاعتماد على دائرة رنين التوالي المكونة من (ملف- متسعة - مقاومة) ومجهز قدرة متناوب في إيجاد ثابت عزل المادة بعد استحصال قيمة التردد الرنيني للدائرة بوجود العازل وعدم وجود العازل وتعويضه بالعلاقات التالية :

إن (C) يمكن إن تحسب من العلاقة الآتية [20] :

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f_r^2 L} \quad (10)$$

وإن (C_0) يمكن أن تحسب أيضا من العلاقة الآتية:

$$C_0 = \frac{1}{4\pi^2 f_{r0}^2 L} \quad (11)$$

حيث أن:

C: سعة المتسعة بوجود مادة عازلة (f) ، C_0 : سعة المتسعة بوجود الهواء (f) ، ϵ : سماحية المادة العازلة (F/m) ، ϵ_0 :

سماحية الفراغ وتساوي (8.85×10^{-12} F/m) ، f_{r0} : التردد الرنيني بوجود الهواء (Hz), f_r : التردد الرنيني بوجود العازل

(L), (H), حثية الملف مقاسه (H). وإن ϵ_r يمكن كتابتها بالصيغة الآتية :

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0} \quad (12)$$

6. النتائج و المناقشة:

مناقشة كافة النتائج التي تم الحصول عليها وبيان تأثير إضافة مواد التقوية على الخواص الميكانيكية والفيزيائية

للمتراكبات المحضرة.

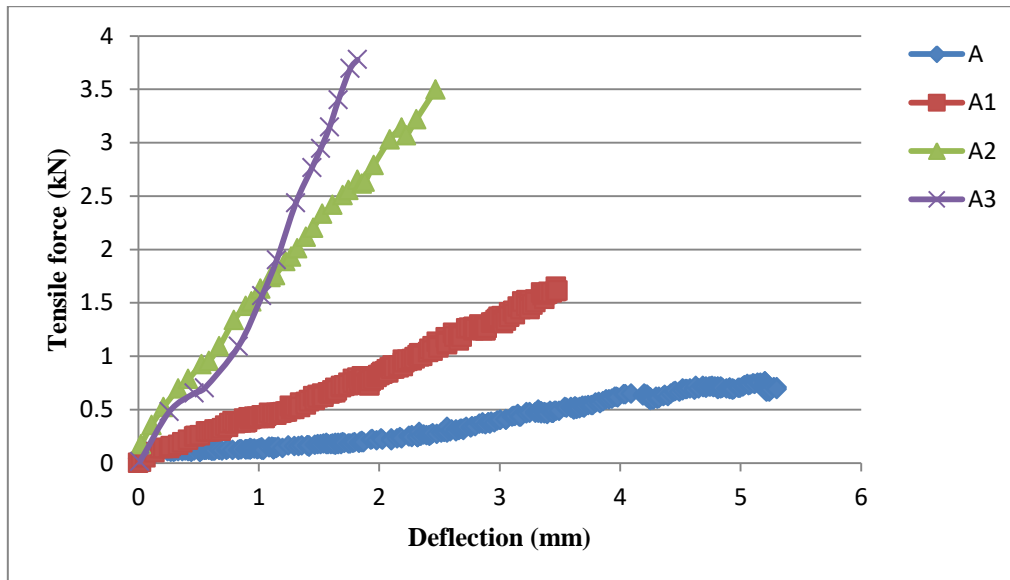
6.1 الخواص الميكانيكية :

6.1.1 اختبار الشد (Tensile Test):

تعتبر الراتنجات من المواد الهشة حيث مقاومتها للشد منخفضة جداً وهذا ما نراه في الشكل 1 والممثل بالمنحنى A، ولكن عند إضافة مواد التقوية وعلى وجه التحديد ألياف الكربون تتحسن مقاومتها للشد بصورة كبيرة، حيث إن الجزء الأعظم من الإجهاد المسلط تتحمله الألياف، مما يرفع مقاومة الشد للمادة المتراكبة؛ وذلك لأن الألياف تتميز بمطابقتها المنخفضة [21].

الجدول 2 والشكل 2 يوضحان بعض الصفات والخصائص الخاصة بالمتراكبات المحضرة التي تعطي فكرة عن سلوك هذه المتراكبات والمتمثلة بمعامل المرونة التي تم حسابها بالاعتماد على المعادلة (4) وكذلك متانة الشد القصوى ومتانة الكسر والمطيلية التي تم حسابها بالاعتماد على المعادلة (5).

نلاحظ من الجدول 2 أن قوة الشد القصوى ومعامل المرونة ومتانة الكسر والمطيلية تختلف من نموذج إلى آخر حسب نوع ونسب مواد التقوية في المادة المتراكبة المحضرة. كما يلاحظ أن المتراكبات (A2,A3) لديها قوة شد أفضل بالمقارنة مع النموذج (A)، بسبب وجود ألياف الكربون مما يزيد من صلابة وقوة المتراكبات الهجينة [22,23].



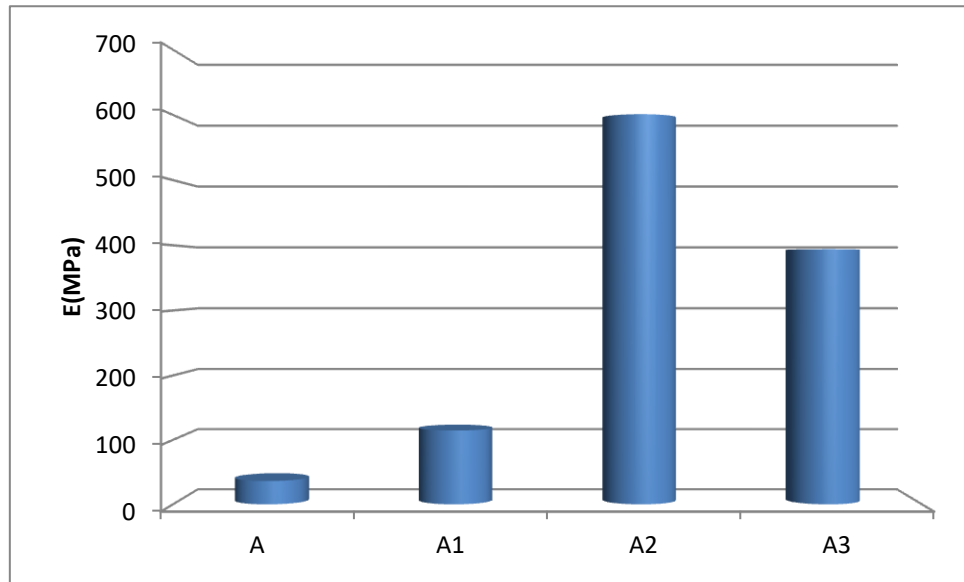
شكل 1: يمثل العلاقة بين قوة الشد والانحراف لكل النماذج بدرجة حرارة المختبر.

جدول 2: يمثل خصائص وصفات كل مترابك.

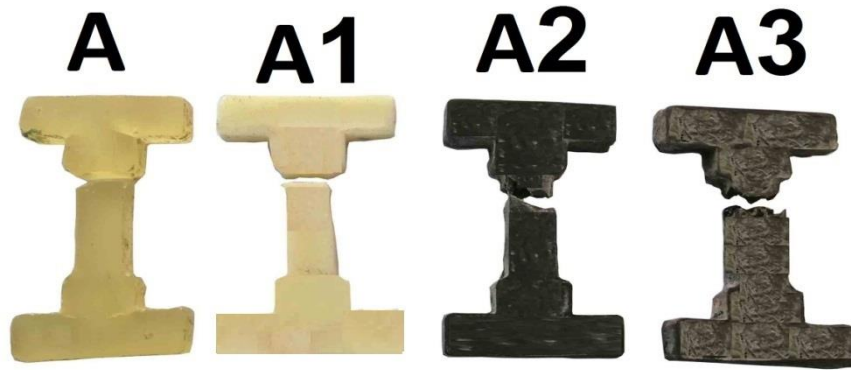
رقم النموذج	E(MPa)	T . S (MPa)	F.S(MPa)	ductility
A	36.1	7.80	7.927	0.221
A1	114.5	16.61	16.614	0.136
A2	601	34.95	34.95	0.932
A3	394	36.93	36.93	0.973

إن صفة المتانة التي تتميز بها المواد المترابكة المقواة بالسليكا وألياف الكربون (A2) والمواد المترابكة المقواة بالالومينا وألياف الكربون (A3)، يعود إلى إن مادة السليكا ومادة الالومينا وألياف الكربون لهما مقاومة شد ومرونة عاليتين فضلا عن توزيعهما المتجانس داخل مادة البولي استر والابوكسي، مما يخلق سطوح بنيوية تامة ما بين مادة الأساس ومادة التقوية. علاوة على التوافقية بين المادة الأساس ودقائق السليكا وألياف الكربون، وكذلك المادة الأساس ودقائق الالومينا وألياف الكربون، مما أدى إلى زيادة مقاومة الشد والمتانة [24].

إما الشكل 3 هو يوضح طبيعة الكسر الحاصل بعد تعرض النماذج إجهاد شد مستمر إلى إن يصل النموذج إلى حالة القطع (نقطة الكسر). وإن طبيعة هذا الكسر هو كسر هش وليس مطيلي لكافة النماذج.



شكل 2: يمثل قيم معامل المرونة بدرجة حرارة المختبر لكل النماذج.

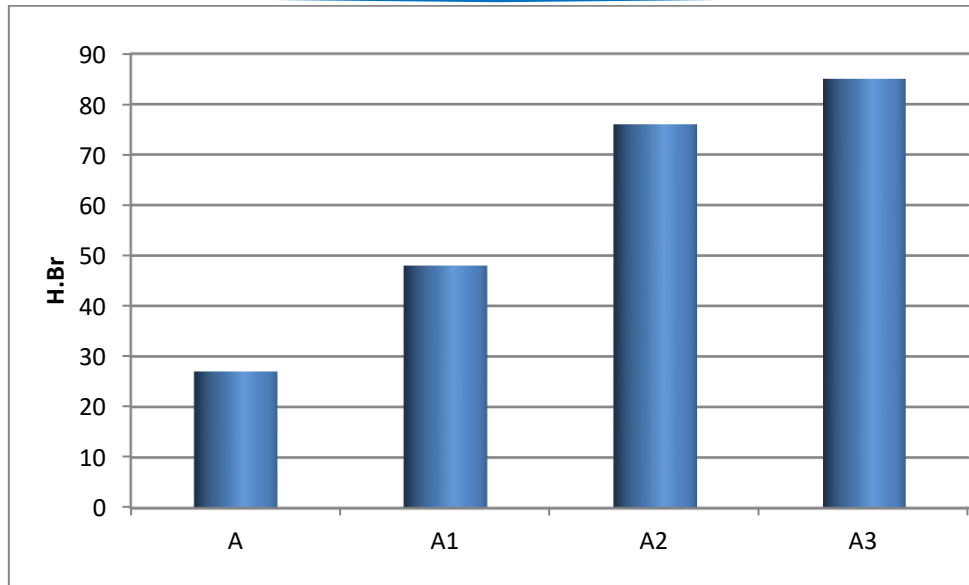


شكل 3: يوضح حالة الكسر لكل النماذج بدرجة حرارة المختبر.

6.1.2 اختبار الصلادة (Hardness Test):

تم اختبار الصلادة للنماذج المستخدمة في البحث الحالي، وتم قياس صلادة برينل حيث كان الحمل المستخدم أثناء القياسات (1.5 kN) وزمن التحميل (30 Sec) وقطر الكرة الفولاذية (10 mm). بالاعتماد على المعادلة (7) تم حساب قيم الصلادة لكل النماذج، الشكل 4 يوضح قيم الصلادة لكل النماذج المستخدم في الدراسة، أن الصلادة للمواد المترابطة أعلى من صلادة المادة الأساس من دون تقوية وهذا ناتج من التقوية التي تحدث نتيجة وجود دقائق الالومينا والسليكا الصلدة وألياف الكربون وتوزيعها في أرضية المادة الأساس. ولوحظ أن أعلى صلادة كانت للنموذج المدعم بألياف الكربون ومسحوق الالومينا النانوي (A3)، وذلك لان وجود مواد التقوية تؤدي إلى إعاقة حركة الانخلاعات، وإمكانية على مشاركتها طور الأساس في تحمل القوى والاجهادات المسلط عليها وهذا يتفق مع [25،26].

أن ارتفاع صلادة برينل لمسحوق الالومينا يعزى ذلك إلى قوة الترابط بين المادة الأساس ودقائق الالومينا والألياف مما يؤدي إلى ارتفاع الصلادة للمادة المترابطة، بالإضافة إلى أن الالومينا تمتاز بصلادتها العالية وهذا يتفق مع [27،28].



شكل 4: يبين صلادة المواد المتراكبة المحضرة بدرجة حرارة المختبر لكل النماذج.

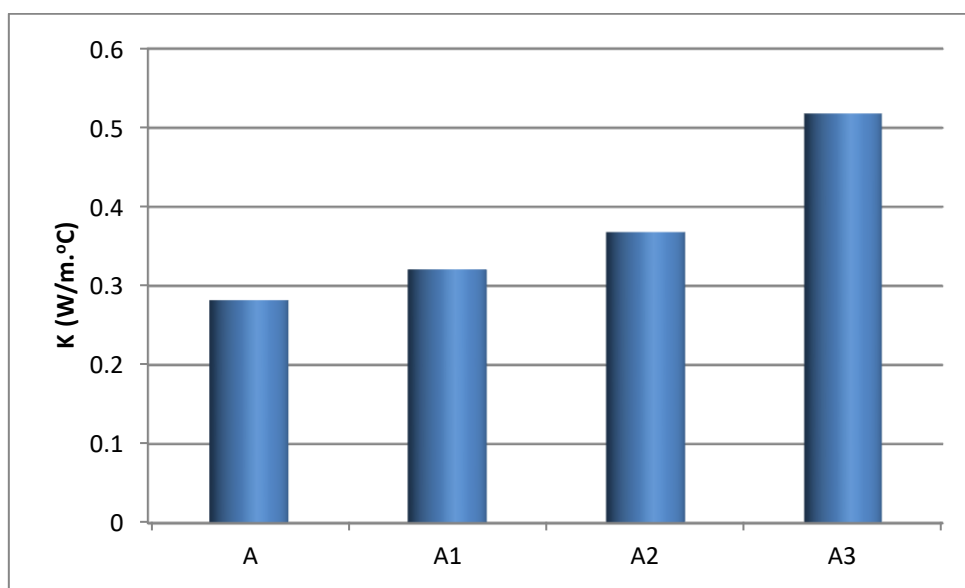
6.2 الخواص الفيزيائية :

6.2.1 الموصلية الحرارية (Thermal Conductivity Test) :

وقد تم حساب الموصلية الحرارية لجميع النماذج في درجة حرارة المختبر، وبالاعتماد على العلاقتين (8) و (9)، من خلال النتائج المستحصلة والموضحة في الشكل 5، حيث وجد أن تقوية الخليط البوليمري يؤدي إلى زيادة التوصيلية الحرارية، وان قيمة (K) للخليط البوليمري غير المدعم (A) هي (0.282 W/m °C) في درجة حرارة المختبر وان القيمة تغيرت مع تدعيم الخليط البوليمري (0.321 , 0.368 , 0.518W/m °C) للنماذج على التوالي (A1,A2,A3). والسبب يعزى إلى وجود ألياف الكربون ومسحوق الالومينا ومسحوق السليكا النانوي [29]. إن إضافة ألياف الكربون إلى راتنج الايبوكسي والبولي استر تحسن خاصية التوصيلية الحرارية، ومن ناحية أخرى فان وجود الدقائق مع الألياف سوف تعمل على تراص وتماسك المادة المتراكبة وتقليل عدد الفراغات التي يمكن أن تتكون خلال التصنيع للمادة المتراكبة وتوزيعها بشكل منتظم، وبذلك تقل عدد الفراغات الهوائية الموجودة (أي تقل نسبة الوسط العازل).

وبالتالي تتحسن الموصلية الحرارية وهذا يتفق مع المصدر [30,31]، إما بالنسبة للمادة المتراكبة المقواة بالدقائق (الومينا وسليكا) فقط كانت قيمة (K) لها اقل، وذلك لان المساحيق في طبيعتها تكون مسامية وتحتوي على فراغات، لذلك تصبح موصليتها اقل [32]. ومن الشكل 5 نلاحظ إن أعلى توصيلية حرارية في درجة حرارة الغرفة، كانت

للمترابك $(EP+UPE+C+Al_2O_3)$ ، ثم تليها المترابك $(EP+UPE+C+SiO_2)$ ، وأخيرا يتبعه المترابك $(EP+UPE+SiO_2+Al_2O_3)$. وقد كانت قيمة (K) للمادة المترابكة $(EP+UPE+C+Al_2O_3)$ أعلى من المادة المترابكة $(EP+UPE+C+SiO_2)$ ، وذلك لان المعدن موصل جيد للحرارة إذ أن المعادن تعتمد على الالكترونات الحرة. في انتقال الحرارة، إما بالنسبة للسيراميك يعتمد في انتقال الحرارة على اهتزازات فونونات الشبيكة؛ لان الفونونات (Phonons) والتي تمثل اهتزازات الشبيكة وتكون هي مسؤولة عن انتقال الحرارة في المواد الصلبة العازلة [32].

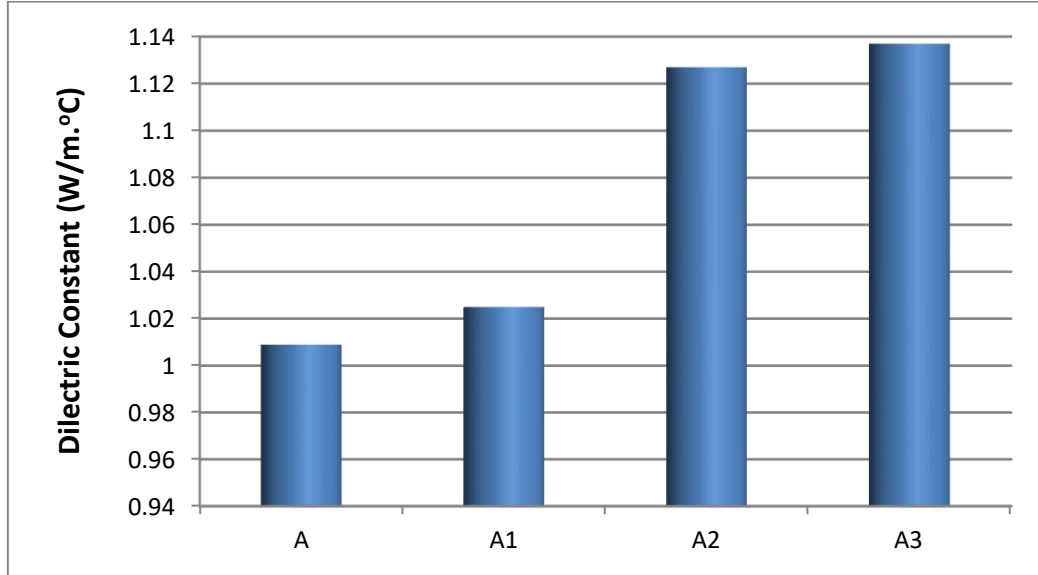


شكل 5: يوضح قيم الموصلية الحرارية بدرجة حرارة المختبر لكل النموذج.

6.2.2 الموصلية الكهربائية (Electrical Conductivity Test) :

تم حساب قيم ثابت العزل الكهربائي للنماذج، وذلك بالاعتماد على المعادلات (11)،(12)،(13) و الشكل 6 يوضح قيم ثابت العزل لكل النماذج بدرجة حرارة الغرفة، حيث نجد بان قيم ثابت العزل الكهربائي للعينات المدعمة بألياف الكربون والالومينا A3 (1.137). أعلى قيمة، ثم تليها العينات المدعمة بألياف الكربون والسليكا A2 (1.127)، والعينات المدعمة بمسحوق الالومينا والسليكا A1 (1.025)، وأخيرا العينات غير المدعمة من راتنج الايبوكسي والبولي استر غير المشبع (1.009)، ويعود السبب في ذلك إلى الاستقطاب البيئي حيث انه عندما يكون تركيز المواد المضافة قليل فان الجسيمات المضافة تكون معزولة عن بعضها ولا يوجد اتصال فيما بينها، وبزيادة تركيز المواد المضافة تبدأ

الجسيمات (جسيمات الالومينا أو السليكا) بالتجمع، وان معدل الاستقطاب للمتجمعات يكون أعلى من قيمته في حالة الجسيمات المنفردة ؛ ذلك بسبب زيادة أبعاد التجمعات للمواد المضافة [33].



شكل 6: يوضح ثابت العزل لكل النماذج بدرجة حرارة المختبر.

7. الاستنتاجات:

1. تحسن قيم الخواص الميكانيكية للخليط البوليمري ايبوكسي - بولي استر بعد تقويته بألياف الكربون ومسحوق الالومينا النانوي ومسحوق السليكا النانوي.
2. كما يلاحظ أن المترابكات الهجينة (A2,A3) لديها قوة الشد أفضل بالمقارنة مع غيرها من المترابكات الهجينة، بسبب وجود ألياف الكربون مما يزيد من صلابة وقوة المترابكات الهجينة.
3. أظهرت نتائج اختبار الصلادة لجميع النماذج في درجة حرارة المختبر بان الصلادة قد تحسنت مع التقوية بألياف الكربون ومسحوق الالومينا ومسحوق السليكا النانوي، حيث إن وجود مواد التقوية (ألياف الكربون ومسحوق السليكا ومسحوق الالومينا) يرفع من قيمة الصلادة نتيجة الزيادة في مقاومة المواد المترابكة الهجينة للتشوه اللدن. لأنه يعتمد على القوى التي تربط بين الذرات والجزيئات ، كلما كان الربط قوي تزداد قيمة الصلادة.
4. في اختبار الموصلية الحرارية أعطى المترابك A3 أعلى قيمة للتوصيلية الحرارية مقارنة مع باقي النماذج .

5. في اختبار ثابت العزل أعطى المترابك A3 أعلى قيمة لثابت العزل مقارنة مع باقي النماذج .

المصادر:

- [1] H. Dosch, E. Mittemeijer, M. Rühle, M.H. Van de Voorde, "*European White Book On Fundamental Research Max - Planck – Instill tut fur metal for Metal for Schung Stuttgart in Materials Science*", Max-Planck-Institute fur Metal Iforschung Stuttgart, Germany Presentation of EC White Book on Fundamental Aspects in Materials Research, Polymer International PolymInt 51, 1378 (2002).
- [2] Hai-Yong Kang, PhD., "*Fabrications, and Applications Prepared* ", A Review of the Emerging Nanotechnology Industry: Materials, Department of Toxic Substances Control, Pollution Prevention and Green Technology, California, 64, (2010).
- [3] Prof. Dr. Muhsin J. Jweeg, Asst. Prof. Dr. Ali S. Hammood and Muhannad AlWaily, "*Experimental and Theoretical Studies of Mechanical Properties for Reinforcement Fiber Types of Composite Materials* ", International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS, 12(04), 62 (2012).
- [4] Kishore, SM Kulkarni, D Sunil and S Sharathchandra, "*Effect of surface treatment on the impact behavior of fly-ash filled polymer composites*", Polymer Composites Laboratory, Department of Metallurgy, Indian Institute of Science, Bangalore 560012, India Polymer International PolymInt, 51, 1378 (2002).
- [5] Mi Micromeritics, "*Materials characterization instrumentation, AZom TM The A to Z materials and AZojomo*", The AZo Journal of materials online, AZomP TM P compty, (2012).
- [6] S. Patankar¹, R. Mohan¹, and A. Kelkar², "*Thermo physical and Tensile Behavior of Hybrid Epoxy Composites with Boron Carbide Particulates*", 18TH International Conference on CompositeMaterials, 1 Computational Sci. and Eng., North Carolina A&T

State University, Greensboro, USA 2Nanoengineering, North Carolina A&T State University.

[7] J. Abenojar, M. A. Martnez, F. Velasco, J. C. del Real-Romero, "*Effect of moisture and temperature on the mechanical properties of an epoxy reinforced with boron carbide*", Journal of Adhesion Science and Technology, 25(18), 2445 (2011).

[8] لميس علي خلف، " دراسة الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لمتراكبات البولي استر غير المشبعة والمدعمة بألياف الزجاج وألياف النايلون "، رسالة ماجستير، قسم هندسة المواد، الجامعة التكنولوجية، (2006).

[9] "*Carbon Fiber*", http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_reinforced_plastic.

[10] E. P. DeGarmo, J. T. Black, and R. A. kosher, "*Materials and processes in Manufacturing* ", 10th Ed., John Wiley & Sons, (2008).

[11] "*Aluminum Oxide, Al₂O₃*", www accuratus.com/alumox.html .

[12] I. A. Hamood, "*Impact behavior of epoxy blends and composites*", M.Sc. thesis Department of Applied Sciences, University of Technology, (2009).

[13] Bhagwan D. Agarwal, Lawrence J. Broutman, K. Chandrashekhara, "*Analysis and Performance of Fiber Composites* " ,4th Ed., John Wiley & Sons, Inc., Bhagwan D Agarwal & L, (1980).

[14] Watter E. Driver, "*Plastics Chemistry and Technology* ", Van Nostr and Reinhold Company, (1975).

[15] المملكة العربية السعودية، المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني، الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج تخصص ميكانيكا إنتاج اختبار المواد، طبعة 1429 هـ .

[16] ستيدمان . دبل يو . سنادر . ا.ر. اندرسون . أي أ.ج، ترجمة د. دايع عبد علي عبود الزويني، د. محمود فرج بلال السامرائي ود. علوان نصيف جاسم، " الكيمياء للهندسة والعلوم التطبيقية"، الكلية الفنية العسكرية، (1987).

[17] H . W. C. Yiband, J . B. Shortall, " *J. of Adhesion* " , 8(2), 155 (1976).

[18] ببلي. ف، ترجمة الدكتور حسين باقر رحمة الله، " مبادئ هندسة المعادن والمواد"، جامعة البصرة، (1985).

[19] هناء علي حميد ، " دراسة السلوك الميكانيكي والحراري لمادة متراكبة من الصوف الصخري واسود الكربون"، رسالة ماجستير، قسم العلوم التطبيقية - الجامعة التكنولوجية، (2005).

[20] D. Askeland, "*The Science of Engineering of Material*", 2nd Ed., Chapman and Hall, London, (1990).

[21] Ali I.AI-Mosawi , " *Study of Some Mechanical Properties for Polymeric Composite Material Reinforced by Fibers* ", Al-Qadessiyah Journal For Engineering Science, 2(1), 14 (2009).

[22] W. D. Callister Jr, "*Materials Science and Engineering: An introduction*", 5th Ed., Wiley, John Wiley and Sons. Inc. New York, (2000).

[23] Aparna Gupta, Santosh Kumar," *Material science for engineering*", CBS Pub. 1st Ed., (2004).

[24] د. سهامة عيسى صالح، وآخرون، " دراسة الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة ذات أساس بوليمري مقواة بالألياف والدقائق"، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، 28(4) (2010).

[25] R.A .Higgins, " *Engineering Metallurgy*", McGRAW-Hill Book Company, London, (1973).

[26] هدى جبار عبد الحسين، "مقاومة البلى لخلائط بوليمرية متصلدة بالحرارة"، رسالة ماجستير، العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية، (2008).

[27] Dr. Balqees. M. D. Al Dabbagh and Zaid Ghanem M. Salih, "*Studying of Some Mechanical Properties for Polymeric and Other Reinforced Blends Under The Influence of Chemical Solutions*", Engineering and Technology Journal, 27(16), (2009) .

[28] Higgins R. A., "*Materials Engineering and Technicians Elsevier Ltd*", (2006).

[29] William D. Callister, Jr. , " *Materials Science and Engineering An Introduction* ", 8th Ed., John Wiley & Sons, Inc, (2009).

[30] S. M. Kulkarni, D. Anura dha, C.R.L. Murthy and Kishore,)", " *Analysis of Filler- Fiber Interaction in Fly Ash Filled Short Fiber- Epoxy Composites Using Ultrasonic NDE*", Bulletin of Materials Science, 25(2), 137 (2002).

[31] A. R. Donald, and P.P. Pradeep, " *The Science & Engineering of Material* ", 4th Ed., Donald Askeland and Pradeep P. Phule. Brooks/Cole Publishing, (2006).

[32] م .و. زيمانسكي و. ر. ه ديتمان، ترجمة د. محسن سالم رضوان ود. عبد الرزاق عبد الفتاح، " *الحرارة والديناميكا الحرارية* "، دار ماكجر وهيل للنشر، مصر، (1982).

[33] J. J. Dawood & B. A. Ahmed," *Study The Effect Of The (Al) And (Al₂O₃) Particles Reinforcing On The Wear Volume Loss Characteristics Of Epoxy*", Engineering and Technology Journal, 27(1), (2009).