

تأثير توجيه الألياف على الخصائص الميكانيكية لمركب الإيبوكسي-كفلر

زهراء عبد الحمزة عزيز عبد العابدي ، حسنيه هادي ذنون البياتي
جامعة كركوك / كلية التربية للعلوم الصرفة - قسم الفيزياء

الخلاصة :

في هذا العمل تم تحضير مواد متراكبة من الإيبوكسي المدعم بألياف الكفلر بكسر حجمي 25 % مع الأخذ بعين الاعتبار اتجاه الليف وهي (0°، 45°، 90°) باستخدام طريقة القولية اليدوية (Hand lay-up) والمواد المتراكبة المحضرة هي:

- B = إيبوكسي .
- B1 = إيبوكسي 75 % + كفلر 25 % اتجاه الليف بالمادة المتراكبة طولي (0°).
- B2 = إيبوكسي 75 % + كفلر 25 % اتجاه الليف بالمادة المتراكبة بزاوية (45°).
- B3 = إيبوكسي 75 % + كفلر 25 % اتجاه الليف بالمادة المتراكبة مستعرض (90°).

شملت الدراسة إجراء الاختبارات الميكانيكية لكافة العينات، المتمثلة باختبارات الانحناء، الشد، الصلادة والانضغاطية بالظروف الطبيعية وكذلك دراسة التأثير الحراري على سلوك هذه المتراكبات.

لقد لوحظ أن تقوية الإيبوكسي بألياف الكفلر أدى إلى تحسين الخصائص الميكانيكية للمتراكبات المحضرة بالظروف الطبيعية وعند المقارنة بين الخصائص الميكانيكية لهذه المتراكبات المحضرة لوحظ بأن أفضل القيم في الخصائص المتمثلة ب معامل المرونة، متانة الشد، الانحناء، كانت للمتراكب B1 عند مقارنتها مع B2، B3، وكذلك للمتراكب B2 عند مقارنتها مع B، B3. أما صلادة برينل كانت أعلى قيمة للينة B2 عند مقارنتها مع B، B1، B3، أما الانضغاطية كانت أعلى قيمة B3 وعند وجود هذه المتراكبات في محيط ساخن بدرجات حرارة ضمن المدى (20 - 40) درجة مئوية، لوحظ أن للجو الساخن تأثير سلبي على سلوك هذه المتراكبات وبالتالي فإن الخصائص الميكانيكية.

الكلمات الدالة : المادة المتراكبة، ألياف الكفلر، الخواص الميكانيكية، توجيه الألياف.

Effect of Fiber Orientation on Mechanical Properties for Epoxy /Kevlar Composites

Zahraa Abd UL Hamza Aziz Aabdi* ، Husnyia hade Thanon**
University of Kirkuk / College of Education for Pure Science

Abstract:

In this work, Composite Materials were Prepared from Epoxy Reinforced with Kevlar Fibers with a Volumetric Fraction of 25%, taking into account the direction of the Fiber (90 °, 45 °, 0 °), Using the manual molding method (Hand lay-up).

The prepared compound materials are:-

- B = Epoxy
- B1 = 75% Epoxy + 25% Kevlar The Direction of the Fiber in the Compound Material is Parallel length (0o) .
- B2 = 75% Epoxy + 25% Kevlar, The Direction of the Fiber in the Compound Material at an angle (45°).
- B3 = 75% Epoxy + 25% Kevlar The Direction of the Fiber in the Composite Material is Vertical (90°).

The Study Included Conducting mechanical tests for all Samples, Represented by tests of bending, Tensile strength, Hardness and compressibility under natural conditions, as well as studying the thermal effect on the behavior of these composites.

It has been Observed that Strengthening The Epoxy with Kevlar fibers led to an improvement in the Mechanical Properties of the Composites prepared under natural conditions. When comparing the mechanical properties of these prepared compositions, It was noticed that the best values in the Properties Represented by modulus of elasticity, Tensile Strength, Bending and Compressibility, were for the B1 Compound when compared with B, B2, B3 and also for the B2 compound when compared with the samples B, B3. The Brinell hardness was the highest value for sample B2 when compared with samples B, B1, and B3

When the Composites exist in hot Environments conditions ranged from (20 - 40) oC.it was noticed that young modulus and other Mechanical properties decreases with increasing the Temperature.

Key Words : Composite Material, Kevlar fiber, Mechanical Properties Fiber Orientation.

المقدمة (Introduction)

تعتبر المواد المتراكبة ذات الأساس البوليمري، من المواد الحديثة التي تلعب دوراً أساسياً نتيجة للتطور التكنولوجي والهندسة والصناعات الحديثة والتي تحتاج الى مواد لها مزيج من الخواص غير الاعتيادية والتي لا يمكن وجودها في المواد التقليدية مثل المواد المعادن، المواد السيراميك، المواد البوليمرية، وأن صنع مواد ذات مواصفات خاصة تلبي احتياجات تصميمية معينة اثار اهتمام المهندسين لسنوات عديدة، فمثلا مهندسي الطائرات يبحثون باستمرار عن مواد متراكبة لها كثافة منخفضة ولكنها قوية وصلبة ومقاومة للصدمات وليس من السهولة تأكلها وهذا مزيج من الصفات التي لا يمكن جمعها بسهولة، فمثلا غالباً ما تكون المواد ذات القوة لها كثافة عالية نسبياً وزيادة القوة والصلابة تؤدي الى انخفاض في قوة الصدمة [1].

أكتسبت المواد المتراكبة المقواة بالألياف الكثير من الاهتمام والانتباه وقد أثبتت نجاحاً في التطبيقات الفضائية، النقل، الصناعة المدنية والعسكرية، الصناعات الزراعية، الصناعات الطبية، السيارات، الطائرات، والصواريخ، والاستخدامات البحرية [2].

درست الباحثة أوهان في عام 2017 تأثير التعديم بالألياف على متانة الانحناء للأيبوكسي المدعم بالألياف الزجاج المقطعة بكسر حجمي مقداره (20)٪ بالإعتماد على اختبار الانحناء ثلاثي النقطة والانحناء رباعي النقطة، تبين أن الأيبوكسي المقواة بالألياف الزجاج يمتلك متانة انحناء أعلى من تلك للأيبوكسي النقي (أقل أنفعالاً)، أما في اختبار رباعي النقطة أصبحت القوة اللازمة لفشل العينة المعروضة لاختبار ثلاثي النقطة نفسها [3]. وفي العام 2019 قام الباحث عبد الرحمن دراسة تأثير الاتجاه والكسور الحجمية ودرجة الحرارة على خاصية الانحناء لصفائح بوليمرية مدعمة

بالألياف الزجاجية، تم دراسة سلوك متانة الانحناء لخليط الايبوكسي والبولي استر كمادة أساس والمدعمة بطبقات من الألياف الزجاج وبكسور وزني 12 ٪ و 25 ٪. باستخدام طريقة القولية اليدوية وفق نظام طبائقي مكون من صفيحة آحادي و صفيحه متناظره ، و صفيحه غير متناظره، بزوايا مختلفة $[0^\circ]_6$ ، $[45^\circ]_6$ ، $[90^\circ]_6$ ، $[0^\circ]_8$ ، $[45^\circ]_8$ ، $[90^\circ]_8$ ودراسة نظام طبائقي آخر مكون من ثلاث طبقات وهي $[0^\circ]_3$ ، $[45^\circ]_3$ ، $[90^\circ]_3$ ، $[0^\circ]_4$ ، $[45^\circ]_4$ ، $[90^\circ]_4$ ، وتمت المقارنة بين النظامين حيث أظهرت النتائج زيادة متانة الانحناء لزوايا أحادية الاتجاه $[0^\circ]_6$ ، $[0^\circ]_8$ ، $[0^\circ]_3$ ، وكذلك أعطت أعلى قيم لمتانة الانحناء في درجات الحرارة $(25, 50, 100, 125)^\circ\text{C}$ ، ووجد أيضاً عند زيادة درجة الحرارة تزداد متانة الانحناء لجميع عينات الأيبوكسي المدعم بألياف الزجاجي لأن مادة الأيبوكسي المدعمة بالألياف الزجاجية تظهر سلوكاً مطيلاً [4]. أما الباحث وجماعته S. Arunprasad, et. al في عام 2020 قاموا بدراسة الخصائص الميكانيكية لمتراكب الإيبوكسي المدعم بألياف الكفلر المدعم وألياف الموز (ألياف طبيعية) و صفائح الألمنيوم، كان الهدف من البحث هو تحسين الخصائص الميكانيكية المتمثلة بخصائص متانة الشد ومقاومة الصدمة للمتراكب المحضر [5].

الهدف من البحث هو تحضير مواد متراكبة من الإيبوكسي وألياف الكفلر المرتبة بزوايا مختلفة (اتجاه الليف 0° ، 45° ، 90°) ودراسة تأثيرها على الخصائص الميكانيكية المتمثلة بالانحناء والشد والصلادة والانضغاطية للمتراكبات المحضرة وكذلك دراسة تأثير المحيط الساخن على سلوك هذه المتراكبات.

1 - المواد المستخدمة

● راتنج الايبوكسي نوع سيكادور 52 : وهو من الراتنجات غير المطاوعة للحرارة، منشأ شركة

● **ألياف الكفلر:** استخدمت ألياف الكفلر الطولية (مستمرة) في عملية التدعيم ذات منشأ صيني من شركة Nanjing-Faircon Technology. Co. Lt. يعد الكفلر من الألياف الصناعية ذات الأداء العالي وكثافته 1.4 g/m^3 ، غالي الثمن، أن للكفلر استخدامات خاصة في المجالات التي تتطلب مقاومة اللهب والصدمة. يبين الشكل (1) صورة لنوع ألياف الكفلر المستخدم في البحث.

Sika التركيبية. ويتميز هذا الراتنج بأنه متوسط اللزوجة، وهو سائل خفيف ولونه شفاف، وكثافته 1.1 g/cm^3 عند درجة حرارة 20°C ويتحول هذا الراتنج إلى مادة بوليمرية صلبة بإضافة المصلد (Hardener) إلى الراتنج بنسبة 2:1 ، حيث يتم مزج الخليط لمدة دقيقتين ويحدث بينهما التفاعل عند درجة حرارة الغرفة .



شكل (1): يبين ألياف كفلر طولية (مستمرة).

2 - تحضير العينات

ρ_m, ρ_f كثافة مادة التقوية والمادة الاساس على التوالي. وبعد اجراء عملية الصب في القالب، يتم ترك المصبوبة داخل القالب عند درجة حرارة الغرفة 24 ساعة وبعد التصلب يتم رفع المادة من القالب وتوضع في الفرن بدرجة حرارة 50 درجة مئوية لمدة 3 ساعات للمعالجة، ثم الحصول على عينات الاختبار بتقطيع الصبة الى عينات خاصة بكل اختبار حسب المواصفات العالمية (DIN-50106)، (ASTM-D790) والجدول (1) يوضح رمز المتراكب المحضر ونسب المكونات الداخلة فيه وأتجاه الليف داخل كل نموذج مع صورة مصغرة يبين ترتيب وأتجاه الليف في كل نموذج.

تم تحضير المواد المتراكبة ذات الأساس البوليمري من الأيبوكسي المدعم بألياف الكفلر بكسر حجمي (25 %) مع إجراء عملية ترتيب وتوجيه الألياف في القالب بزوايا مختلفة هي 0° (بعد واحد، 45° ، 90° بعد واحد). استخدمت طريقة القولبة اليدوية (Hand Lay-Up Molding) في عملية تحضير العينات المختبرة، لجميع الحالات تم احتساب نسب مكونات المادة المتراكبة من خلال تطبيق العلاقة [6]:

$$\varphi = \frac{1}{1 + \left(\frac{1-\psi}{\psi}\right)\left(\frac{\rho_f}{\rho_m}\right)} \quad (1)$$

حيث أن: φ, ψ الكسر الوزني والكسر الحجمي للمادة المتراكبة على التوالي.

الجدول (1) يبين نسب ومكونات المواد الداخلة في المتراكبات المحضرة مع بيان اتجاه الليف .

Symbols of Composite	Percentage of each material in the composite
B	ايوكسي 
B ₁	ايوكسي 75% + كفلر 25% اتجاه الليف بالمادة المتراكبة طولي (0°) ببعد واحد 
B ₂	ايوكسي 75% + كفلر 25% اتجاه الليف بالمادة المتراكبة بزواوية (45°) ببعدين 
B ₃	ايوكسي 75% + كفلر 25% اتجاه الليف بالمادة المتراكبة مستعرض (90°) ببعد واحد 

النتائج والمناقشة:

تمتلك الخواص الميكانيكية للمادة المركبة أهمية كبيرة في مجال استخدام هذه المادة، يجب أن تصبح قيم هذه الخواص عالية ومقبولة حتى تؤدي عملها بكفاءة جيدة ومن خلال هذه الاختبارات التي أجريت على راتنج الإيبوكسي المقوى بألياف الكفلر المستمرة حصلنا على النتائج الموضحة في الرسوم البيانية والتي تمثل قيم مقاومة الانحناء ومقاومة الشد ومقاومة الانضغاطية ومقاومة الصلادة لكل النماذج.

1 - مقاومة الانحناء ثلاثي النقاط (Three Point Test)

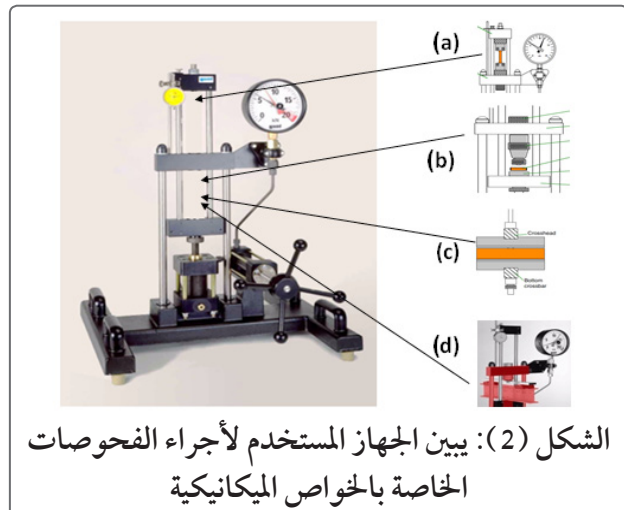
يعد الهدف الأساسي من اختبار الانحناء لمعرفة السلوك الخطي أو ما يدعى أحياناً (Hooken Behavior) للمادة الواقعة تحت تأثير الحمل المسلط في الاتجاه العمودي على المستوي السطحي للعينة وقياس معامل المرونة (E) للنماذج والشكل (3) يبين أن الانحراف يتناسب طردي مع الحمل المسلط عليه ضمن حدود المرونة للمتراكبات المحضرة فعند زوال الحمل المسلط تسترجع المادة حالتها الأصلية وأن ميل النسبة بين القوة والانحراف مقدار ثابت وقد تم حساب معامل المرونة بالاعتماد على المعادلة (2) والمعادلة (3) [7].

$$E = \left[\frac{M}{S} \right] \left[\frac{g}{48I} \right] L^3 \quad (2)$$

$$I = \frac{bd^3}{12} \quad (3)$$

3 - الاجهزة المستخدمة

تم استخدام الجهاز الخاص باختبار المواد من نوع WP300 Universal Material Tester. 20KN والمصنع من قبل شركة gunt hamburg الألمانية والموضحة صورته في الشكل (2)، استخدم هذا الجهاز لأجراء كل الاختبارات الميكانيكية.

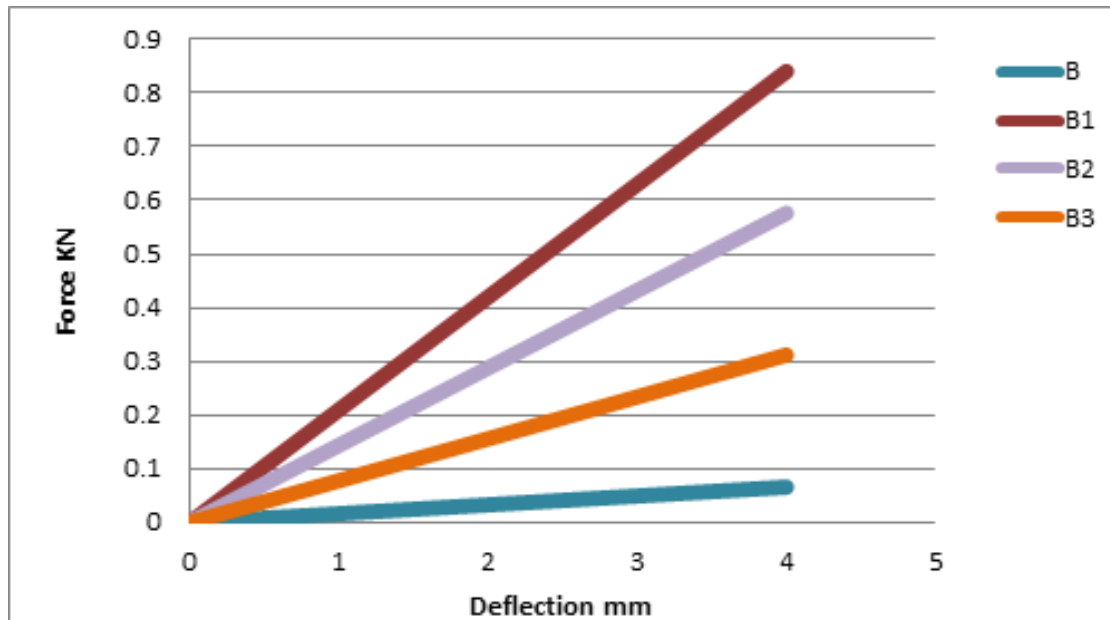


الحمل المسلط بالمتراكب (B1) يكون باتجاه موازي لطول الليف بينما بالمتراكب (B3) عكس الحالة في النموذج (B1) [8].

أما قيم معامل المرونة للمتراكبات بعد وضعها في جو ساخن (20، 30، 40) درجة مئوية تبين أن قيم معامل المرونة قلت لأن الحرارة تسببت في أضعاف قوى الترابط بين السلاسل الجزيئية للمادة الأساس وبالتالي تصبح لينة ويحدث فيها أنفعال كبير يؤدي الى إنخفاض في قيم معامل المرونة والشكل (4) يوضح تغير سلوك هذه المتراكبات مع زيادة درجة الحرارة وأن مقدار الإنخفاض في قيم معامل المرونة للنموذجين (B، B3) هي أكبر من النموذجين (B1، B2) ويعد سبب ذلك تأثير اتجاه الليف في المتراكب واتجاه المسلط [9، 10].

M : تمثل الكتلة المسلطة على العينة (gm) ،
g: التعجيل الارضي (cm/sec^2) ، L: المسافة بين نقطتي التحميل الأرتكاز (mm) ، M/S : يمثل الميل الجزء المستقيم من العلاقة بين الكتلة الانحراف (Kg/m) ، أما S: مقدار الانحراف (Deflection) الناجم عن الحمل المسلط (mm) ، d: سمك العينة (mm) ، b: عرض العينة (mm) ، I: عزم الانحناء الهندسي (mm).

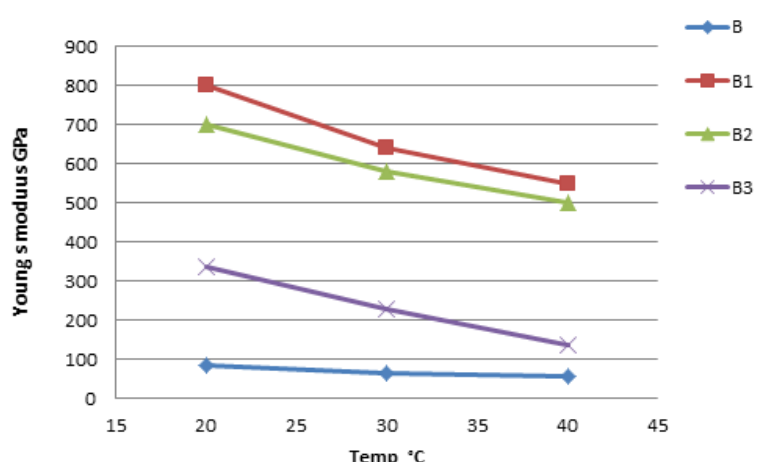
أذ نلاحظ من الجدول (2) أن النماذج (B1، B2، B3) تمتلك معامل مرونة أعلى من معامل مرونة النموذج غير المقواة B بدرجة حرارة الغرفة وكذلك قيمة معامل المرونة للمتراكب (B1) هي أفضل من قيمة معامل المرونة للنموذجين (B2، B3) و يعود ذلك الى التقوية بالألياف وتأثير اتجاه الليف، حيث أن



الشكل (3): يبين العلاقة بين القوة والانحراف لكل العينات بدرجة حرارة المختبر.

Symbols of Composite	Percentage of each material in the composite
B	82.00
B1	800.00
B2	699.8
B3	335.689

الجدول (2):
يمثل قيم معامل
المرونة
لكل العينات بدرجة
حرارة المختبر.



الشكل (4):
يبين تغير معامل
يونك لكل العينات
بدرجات الحرارة
المختلفة للمدى
°C (40-20).

يعد راتنج الإيبوكسي من المواد الهشة إذ تكون مقاومتها للشد منخفضة جداً والمتمثلة بالنموذج (B) ولكن عند إضافة الياف الكفلر الى الإيبوكسي تتحسن مقاومتها للشد بصورة كبيرة وبنسب متفاوتة حسب ترتيب اتجاه الألياف بالمادة وتعد مقاومة الشد مقياساً لقابلية المادة على مقاومة القوى الساكنة التي تحاول سحب المادة وكسرها اذ تبدأ المادة المتراكبة في الاستطالة بشكل خطي في البداية استجابة للجهد المسلط ومع استمرار التحميل يحصل انحراف (استطالة) للعينه كما نراه في الشكل (5)، بعد عبور المادة نقطة الخضوع وتستمر الألياف في الاستطالة والمقاومة حتى تنهار مقاومة المادة [11]. وإذا كان الحمل المسلط على المادة (التمثلة بالمركب B1) باتجاه موازي ليف بزوايه (0°) تكون متانة الشد والخصائص الأخرى منها معامل يونك، متانة الكسر ومطيلية المادة والمدونة قيمها

2 - مقاومة الشد (Tensile Strength)

لقد اظهرت نتائج اختبار الشد للمركبات المحضرة بعد حساب معامل يونك، متانة الشد، متانة الكسر والمطيلية للمادة وبالاكتفاء على المعادلات (4) و(5) في حساب معامل يونك والمطيلية [11].

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (4)$$

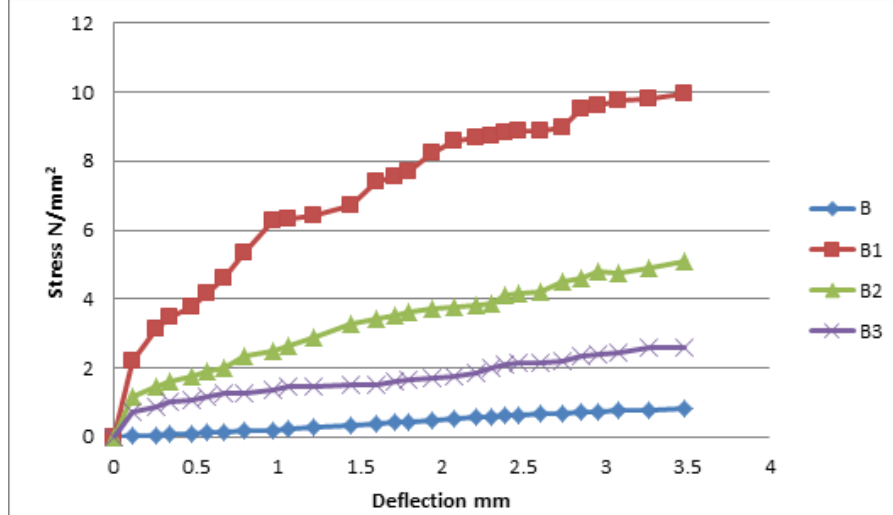
$$Ductility = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (5)$$

E: معامل يونك (N/m^2), σ : يمثل الأجهاد المسلط على المادة, ϵ : الأنفعال عند لحظة التشوه ΔL : التغير في الطول, L_0 : الطول الابتدائي (mm), ليونة المادة Ductility.

المسلط على المادة بزاوية (45°) تكون قيم الخصائص الميكانيكية المذكورة أعلاه ما بين القيم المستحصلة للمركبين (B1، B3).

في الجدول (3) أعلى من القيم المستحصلة في المتراكب (B3) الذي فيه الحمل المسلط باتجاه عمودي على الليف بزاوية (90°). بينما المتراكب B2 الذي فيه الحمل

الشكل (5):
يمثل العلاقة
بين الاجهاد
والانحراف
لكافة العينات
بدرجة حرارة
المختبر.



الجدول (3): يبين خصائص وصفات العينات المحضرة

Symbols of Composite	E(MPa)	T.S(MPa)	F.S(MPa)	Ductility
B	69.39	9.69	9.21	0.287
B1	253.8	30.54	30.32	0.156
B2	178.15	25.31	25.01	0.188
B3	108.15	15.63	15.10	0.220

حيث أن: H.Br: صلادة برينل، F: الحمل المسلط: (Nt.)، D: قطر أداة الغرز (mm)، d: قطر الأثر على سطح العينة (mm).

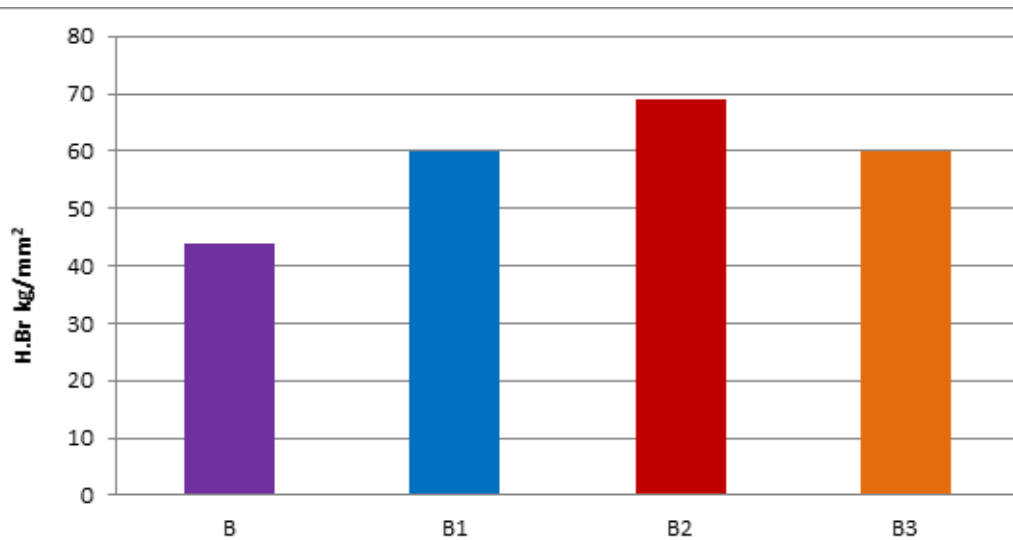
اظهرت نتائج اختبار صلادة برينل لكل النماذج بدرجة حرارة الغرفة أن الصلادة تحسنت مع التدعيم بالألياف والشكل (6) يوضح قيم الصلادة لكل النماذج، وأن وجود ألياف الكفلر رفعت الصلادة للنماذج (B1، B2، B3) بمقدار كبير كما نلاحظ ذلك عند مقارنتهم مع النموذج (B) [14]. وأن الصلادة للمركبات (B1، B2، B3) أعلى من صلادة العينة

3 - مقاومة الصلادة (Hardness)

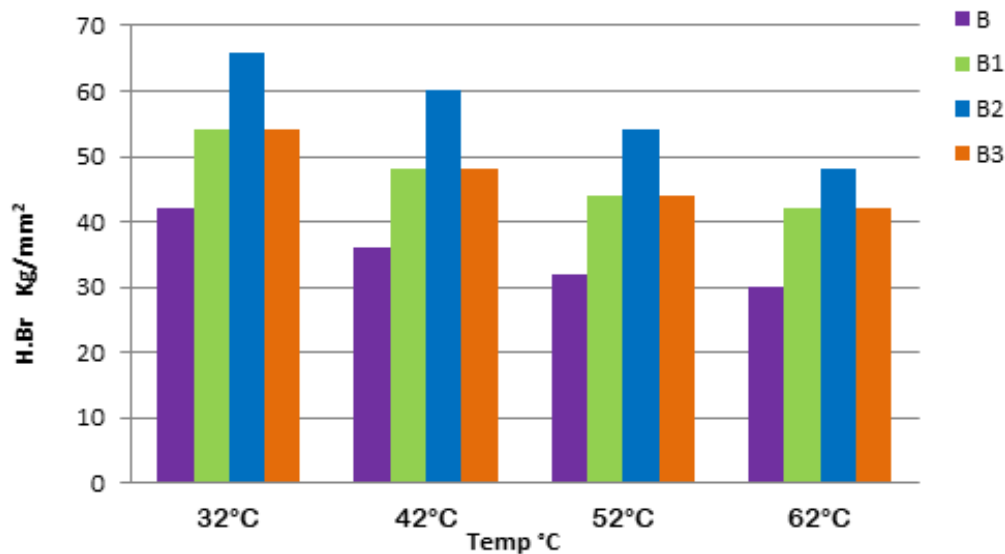
تعد خاصية الصلادة من الخواص الميكانيكية السطحية المهمة وهي مقياس للتشوه اللدن وتعتمد الصلادة كغيرها من الخواص الميكانيكية على نوع السطح ودرجة حرارته والظروف المؤثرة فيه وعلى نوع القوى الرابطة بين الذرات والجزيئات حيث تزداد الصلادة مع زيادة مقدار القوى [12] ويحسب وفق المعادلة الآتية [13].

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

غير المدعمة بألياف الكفلر (B) وهذا يعود إلى ترتيب الألياف حسب الاتجاه. قيمه كانت للعينة (B2) ثم تليها العينات (B1, B3) بشكل مستعرض وطولي تعطي (لأن القوة المملطة على النموذجين باتجاه عمودي على الليف) نفس النتيجة، وكذلك نلاحظ أيضاً أن صلادة برينيل للنماذج (B1, B2, B3) تقل بزيادة درجات الحرارة وأعلى كما نره في الشكل (7).



الشكل (6): تأثير أوجه ألياف الكفلر على صلادة برينيل للعينات المختبرة بدرجة حرارة المختبر



الشكل (7): تأثير اتجاه الليف على قيم صلادة برينيل لكل العينات وبدرجات الحرارة °C (32-62).

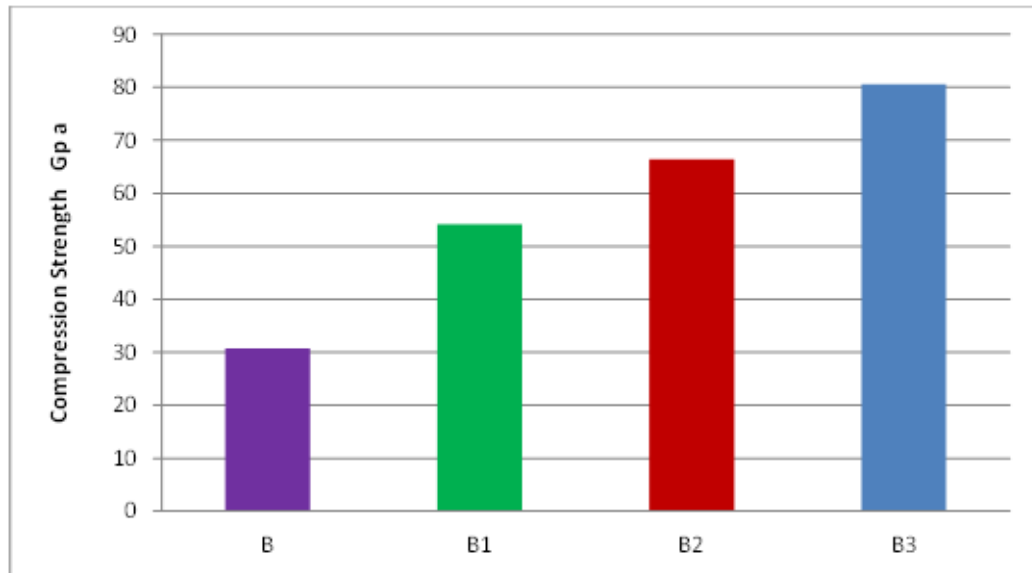
حساب مقاومة الإنضغاط (GPa) C.S لكل النماذج بدرجة حرارة الغرفة. أظهرت النتائج أن قيم مقاومة الإنضغاطية للنماذج B1، B2، B3 المقواة قد تحسنت مع التقوية باللياف الكفلر والشكل (8) يوضح ما ذكر، وأن أفضل مقاومة أنضغاط كانت للنموذج (B3).

$$C.S = \frac{F(Nt.)}{A(mm)^2} \quad (7)$$

حيث أن C.S : تمثل مقاومه الانضغاط ، F: الحمل المسلط (N) ، A: مساحة المقطع العرضي (mm²).

4- مقاومة الإنضغاطية (Compression Strength)

ولمعرفة سلوك المادة الواقعة تحت تأثير إجهاد الضغط العمودي المسلط على العينات وهي أقصى إجهاد تتحمله المادة الجاسئة تحت تأثير الضغط العمودي قبل الوصول الى حالة الفشل اي أن مدى تحمل المادة عند تعرضها للأحمال الساكنة المسلطة عليها قبل أن تتحطم أو تنكسر وتدعى هذه الاحمال بأحمال الإنضغاط)، ومن العلاقة (7). [15، 16] تم



الشكل (8): يبين تأثير اتجاه ألياف الكفلر على قيم الإنضغاطية بدرجة حرارة المختبر.

أعلى قيمة لمعامل يونك .أما (B3) فأعطت قيم أقل بكثير من النموذج (B1).

3 - قلت الصلادة بزيادة درجة الحرارة لأن زيادة درجة الحرارة.

4 - يلاحظ أن المتراكبات (B2، B3) يمتلك مقاومة أنضغاط عالية مقارنة مع العينات الأخرى.

الاستنتاجات (conclusions)

1 - يلاحظ أن المتراكبات (B1) لديها قوة شد أفضل بالمقارنة مع غيرها من المتراكبات بسبب ترتيب ألياف الكفلر بشكل موازي للحمل المسلط مما يزيد من صلابة وقوة المتراكب.

2- يقل معامل المرونة في اختبار الأنحاء كلما ارتفعت درجة الحرارة ورغم ذلك فإن النموذج (B1) له

- mechanical properties of polymer matrix composites", International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMMME) Vol - 1, Issue -1, ISSN 2320-4060. (2013).
- [9] M.W. Pilling, (1979), "Thermal Conductivity of Carbon Fiber Reinforced Composites", Journal of material science 14,6, (1326-1338).
- [10] بلقيس محمد ضياء (1996)، «تسليح ودراسة راتنجي الإيبوكسي والبولي أستر غير المشبع» رسالة دكتوراه، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية، بغداد.
- [11] T. Liyong, A. P. Mouritz, M. K. Bannister. " 3D Fiber Reinforced Polymer Composites ", First Edition, Elsevier Science Ltd. (2002).
- [12] علي هوبي حليم الخزرجي (1999). «تحسين خواص المواد اللدائنية المقساة» رسالة ماجستير، جامعة بابل.
- [13] أوهم محمد حميد. «دراسة تأثير التدعيم بالألياف على بعض الخصائص الفيزيائية لمواد متراكبة» رسالة ماجستير، العلوم التطبيقية - الجامعة التكنولوجية. بغداد (2000).
- [14] S.J. Pande, D.K. Sharma "Strength and Stiffness of Short Glass Fiber/Glass Particulate hybrid Composites", fiber Science and Technology, Vol. 20, No. 3, pp (235-243). (1984).
- [15] أنا.أ. تاكر. ترجمة أكرم عزيز محمد. «الكيمياء الفيزيائية» للبوليمرات «جامعة الموصل»، (1984).
- [16] E. S. de Medeiros, Jose A. M. Agnelli, K. Joseph, Laura H. de Carvalho, Luiz H.C. Mattoso. "Mechanical properties of phenolic composites reinforced with Jute\ cotton hybrid fabrics", polymer Composites", Vol (26), No.(1), pp (1-11), (2004).

المصادر References

- [1] W. D. Callister, Jr. "Materials Science and Engineering An Introduction", 5th ed John Wiley and Sons, Inc. New York. (2000)
- [2] K. Al. Rawi, H. Jaffa, H. W. Abdullah. "Study of Fatigue and Bending Properties For Epoxy - Kevlar- Glass Fibers and Hybrid Composite" Baghdad Science Journal. Vol (11). Issue (2). pages (540-546). (2014).
- [3] A. M. Hameed. "Comparing the Flexural Strength Values for Polymeric Material and other Fibrous Composite in 3 and 4 Point Bending Methods". Journal of college of education. No1. Applied Sciences Department, University of Technology. (2017).
- [4] A. U. Rashid Mohammed Rashid "Study the effect of Direction Volume Fraction and temperature on the bending strength properties of polymer laminates Reinforced by E-glass Fiber" Master Thesis. college of Education Department of physics. University of AL-Qadisiyah. (2019).
- [5] S. Arunprasad, S. Abish, V. Aravind, U. A. Krishna. "Mechanical Properties of Kevlar Fibre With Banana Fibre and Aluminium Mesh using Reinforced Epoxy Resin", International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: (2277-3878), Vo I. (8) No.(5), January (2020).
- [6] M. M. Schwatz. "Composite Materials Handbook", McGraw Hill Company, New York. (1984).
- [7] J. Delmonte "Technology of Carbon and Graphite Fiber Composites", Van Nostrand Reinhold Co., New York. (1981).
- [8] R. Satheesh Raja, K. Manisekar, V. Manikandan, "Effect of fly ash filler size on