Iraqi Journal of Science

# دراسة مقاومة الشد لمتراكبات الايبوكسي المسلح بالألياف الزجاجية

**محمد غازي حمد ، * حازم خليل خلف**

**قسم الفيزياء ، كلية العلوم ، جامعة الأنبار. الانبار- العراق**

***قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة ، جامعة تكريت. صلاح الدين- العراق**

**الخلاصة**

تضمن هذا البحث دراسة مقاومة الشد للمواد المتراكبة المدعمة بالألياف الزجاجية (E-glass). حيث استخدم راتنج الايبوكسي كمادة رابطة لمواد التسليح والمتكونة من حصائر الألياف الزجاجية الصناعية المنتظمة ذات الاتجاهية $0-90^{o}$ والألياف الزجاجية عشوائية الاتجاه (Random). صنعت ألواح من المواد المتراكبة وبعدة طبقات من الألياف الزجاجية ولكلا النوعين من الألياف وجميعها ذات كسر حجمي مقداره ٤٠% من مواد التسليح ، وكل هذه الألواح تم تقطيعها إلى عينات بالقياسات 10X120 ملم أما سمك العينات فيعتمد على عدد طبقات التسليح من الألياف الزجاجية لكي يتم بعد ذلك إجراء اختبار الشد عليها لدراسة تأثير تدعيم الألياف الزجاجية على مقاومة الشد لهذه المواد المتراكبة. أظهرت النتائج والفحوصات المختبرية لهذه العينات إن مقاومة الشد بالنسبة للعينات ذات التسليح المنتظم من الألياف الزجاجية $0-90^{o}$ هي أعلى مما في العينات ذات التسليح العشوائي من الألياف الزجاجية العشوائية (Random).

# STUDYING TENSILE STRENGTH FOR EPOXY COMPOSITES REINFORCED WITH GLASS FIBERS

**Mohammed Ghazi Hammed ,*Hazim Khaleel Khalaf**

Departement of physics, College of Science , University of AL-Anbar.Al-anbar- Iraq

*Deptartement of mechanical engineering, College of engineering, University of Tikreet . Tikreet-Iraq

**Abstract**

This research includes the studying of tensile resistance for composite materials reinforced with glass fibers (E-glass). Epoxy resin was used as matrix for the reinforced materials that consist of artificial glass fiber layers (woven roving) with directional $0-90^{o}$ and with the random direction. The sheets made of composite materials with a number of layers for both types of glass fibers with volume fraction 40% for reinforced materials. All these sheets were cut into samples with measurement 10X120 mm and with sample thickness dependent on the number of layers of glass fibers. Tensile resistance test samples were cut to study tensile resistance for these composite materials. The results and laboratory examinations for these composites show increasing the tensile resistance values for composites reinforced with glass fibers (woven roving) compared to the composites reinforced with glass fibers with the random direction.

**المقدمة**

على الرغم من استعمال المواد المتراكبة منذ القدم لكنها في الوقت الحاضر باتت مواد ضرورية جدا في معظم التطبيقات الصناعية الحديثة نظرا للخواص الميكانيكية العالية التي تتميز بها والملائمة للعديد من الصناعات، لذا فقد أحدثت المواد المتراكبة قفزة نوعية دخلت حيز الصناعة بشكل يضاهي المواد الأخرى كالفلزات وسبائكها [1]. تعد المواد المتراكبة ذات الأساس البوليمري من المواد الحديثة التي تلعب دورا أساسيا في معظم التطبيقات الهندسية والتكنولوجية ، إذا إن استخدام هذه المواد يتطلب امتلاكها متانة جيدة وأداء تقني عالي لتقاوم الاجهادات الخارجية المؤثرة عليها والظروف المحيطة بها من درجة الحرارة وضغط ورطوبة وغيرها. لهذا السبب ازداد توجه العديد من العلماء والباحثين المختصين لتحضير هذه الأنواع من المواد ودراستها والتعرف على أهميتها وخواصها المتغيرة تبعا لخواص المواد الداخلة في تحضيرها والظروف البيئية المحيطة بها وغيرها من العوامل المؤثرة عليها [2].

تعرف المواد المتراكبة بأنها الأنظمة الصلبة الناتجة من اشتراك مادتين أو أكثر بحيث تمثل كل مادة طورا منفصلا في النظام والغرض منها هو الحصول على مواد جديدة ذات خواص مناسبة تجمع بين خواص المواد الأولية الداخلة في تحضير المادة المتراكبة وتتجاوز السيئ من الخواص لتكون أكثر ملائمة للتطبيقات الصناعية. تتكون المادة المتراكبة من جزئيين أساسيين هما المادة الأساس (matrix) ومواد التقوية (reinforcement materials)، حيث إن المادة الأساس تمثل الطور المستمر في المادة المتراكبة التي تضم الأطوار الأخرى حيث تعمل على تماسك عناصر ومواد التقوية وربط الأجزاء معا لتكوين نظام تركيبي متماسك يمكن تحمل القوى الخارجية المؤثرة عليها. يمكن أن تكون المادة الأساس في حالة المتراكبات البوليمرية أما مطاوعة للحرارة مثل البولي أثلين والبولي بروبلين أو غير مطاوعة للحرارة مثل راتنج البولي استر والايبوكسي اللذان يستخدمان بشكل واسع في مجالات عديدة لصناعة المواد المتراكبة [3]. إن الوظيفة الأساسية للمادة الأساس في المواد المتراكبة كونها تمثل الوسط الذي يربط مواد التقوية مع بعضها وبالتالي نقل الإجهاد وتوزيعه على تلك المواد ودورها أيضا في حماية مواد التقوية والسطح البيني من التلف بسبب التأثير الميكانيكي أو التفاعل الكيميائي مع المحيط الخارجي [4]. أما مواد التقوية فهي أما أن تكون على شكل دقائق (particles) أو حشوات (fillings) أو أليياف (fibers) وغالبا تستخدم الألياف في تقوية المواد المتراكبة وهي على نوعين أما ألياف طبيعية مثل الصوف والقطن وألياف الكتان أو الألياف الصناعية وتضم مجاميع الأميدات مثل ألياف الكفلر وألياف الزجاج والكاربون والبورون التي يمكن تصنيعها بمختلف الأشكال والأحجام. وتمتاز هذه الألياف بخفة الوزن والكثافة الواطئة ، حيث يغمر الليف في المادة الرابطة لكي يجعل المادة الرابطة أكثر قوة. إن المتراكبات المدعمة بالألياف تمتلك ميزتين مهمتين هما القوة وخفة الوزن وغالبا ما تكون أقوى من الفولاذ وذات وزن اقل منه [5]. إن المواد المتراكبة يمكن أن يكون لها معاملات مرونة أكثر بكثير مما لموادها الأساسية وكذلك يمكن أن تكون هذه المواد متباينة الخواص ، أي انه أذا سلط إجهاد شد على المادة المتراكبة ذات الكسر الحجمي ($V_f$) من الألياف بموازاة الألياف فهذا يعني إن الانفعالات في كل من الألياف والمادة الرابطة تكون متساوية. وبذلك يمكن حساب معامل يونك للمادة المتراكبة ($E_{composite}$) من العلاقة التالية:-

$$E_{Composite} = V_f E_f + (1-V_f) E_m \quad .....(1)$$

حيث إن ($E_m$) و ($E_f$) هما معامل يونك للمادة الرابطة والألياف على التوالي. تعرف هذه العلاقة بقانون الخلط (Rule of mixture) وهذا يعني إن قيمة معامل يونك لهذه المادة المتراكبة المقواة بالألياف لا يمكن أن تكون أعلى من هذه القيمة.

أما عند تسليط إجهاد على نفس المادة المتراكبة بالاتجاه المعاكس (باتجاه عمودي على الألياف) فان الاجهادات في هذه الحالة تكون متساوية في كل من الألياف والمادة الرابطة ، لذلك يمكن حساب معامل يونك للمادة المتراكبة من العلاقة التالية:-

$$E_{Composite} = \frac{E_f E_m}{E_f (1-V_f) + E_m V_f} \quad .....(2)$$

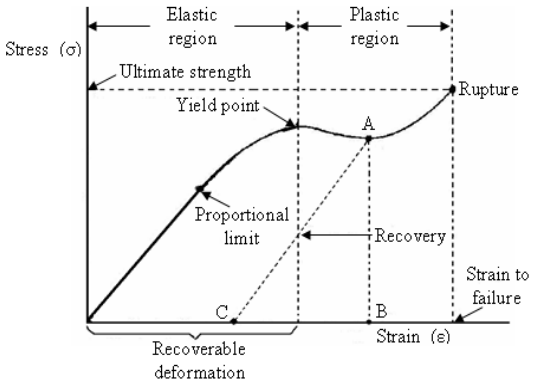
وهذا يعني إن قيمة معامل يونك في هذه الحالة للمادة المتراكبة المقواة بالألياف لا يمكن أن يكون اقل من هذه القيمة. ان قيمة الكسر الحجمي للالياف ($V_f$) تم حسابها باستخدام العلاقة التالية [6]:-

$$V_f\ \% = \frac{v_f}{v_f + v_m} x100\ \% \text{.....} \quad \text{.....(3)}$$

حيث ان كلا من $v_f$ و $v_m$ هما كل من حجم الليف وحجم المادة الرابطة على التوالي.

**منحني الإجهاد – الانفعال للمواد البوليمرية**

تعتبر دراسة التغير الحاصل في أبعاد البوليمر كدالة للإجهاد من الخصائص الميكانيكية المهمة لجميع البوليمرات ، فعند تسليط جهد ما على انموذج بسرعة ثابتة وقياس التغير الحاصل في أبعاد الانموذج أما بدلالة تغيير الطول أو المساحة أو الحجم عندئذ يمكن معرفة سلوك البوليمر تحت تأثير الإجهاد. ومن طبيعة منحنى الإجهاد والانفعال (Stress-Strain Curve) يتم تشخيص البوليمر من حيث متانته ومرونته واقصى جهد يتحمله الانموذج [7]. يستعمل اختبار الشد بشكل واسع لتزويد المصمم بمعلومات عن مقاومة المادة وأقصى استطالة وغيرها من المعلومات الهندسية الأخرى. يتم اختبار الشد لعينة عن طريق تسليط قوة محورية مستمرة الزيادة مع ملاحظة لحظية ومتعاقبة للاستطالة في العينة ومن ثم إنشاء المنحني الهندسي أو الحقيقي بين الإجهاد (Stress) والانفعال (Strain) [8]. تختلف منحنيات الإجهاد – الانفعال باختلاف نوع البوليمر وهي تفيد في دراسة السلوك الميكانيكي للمادة وفي تحديد المتانة (Toughness) والمقاومة (resistance) ومعامل المرونة (Modulus of elasticity) وأقصى إجهاد تتحمله المادة وغيرها من المعلومات المهمة في التطبيقات الهندسية المختلفة، ويوضح الشكل ١. منحني الإجهاد – الانفعال الهندسي للدائن [9,10,11].




**الشكل ١: منحني الإجهاد – الانفعال للمواد البوليمرية [11]**

يمكن تقسيم المنحني اعتمادا على السلوك إلى ثلاث مناطق: تتمثل المنطقة الأولى بخط مستقيم يمثل السلوك المرن (Elastic behavior) وضمن هذه المنطقة تستعيد المادة أبعادها وشكلها الأصلي بزوال الإجهاد بسبب خزن الشغل المصروف كطاقة مرنه تصرف لإعادة الجسم لأبعاده الأصلية قبل تسليط الإجهاد ، ويمثل معامل المرونة ميل الخط المستقيم أي إن:-

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} \text{.....} \quad (4)$$

يستمر هذا السلوك حتى النقطة A التي تعرف بحد التناسب بعدها تصبح زيادة الانفعال غير خطية مع زيادة الإجهاد ويستمر هذا السلوك حتى نقطة الخضوع B وهي النقطة التي يقل عندها الإجهاد الذي تتحمله المادة. عادة ما تكون ظاهرة الخضوع (Yield phenomenon) غير واضحة في اللدائن والتي بعدها ستعاني المادة اللدائنية (Plastic) من انفعال لدن غير عكسي (Irreversible) لا يزول برفع الإجهاد عن المادة بسبب استهلاك طاقة الإجهاد في فك الارتباط بين السلاسل اللدائنية وقد تكسر بعض الأواصر الرئيسية. ورغم ذلك تحصل زيادة في الإجهاد الذي تتحمله المادة نتيجة ترتب السلاسل اللدائنية باتجاه القوى المؤثرة [11]. إن النقطة B المبينة في الشكل ١. تمثل أقصى مقاومة شد (Ultimate tensile resistance) والتي بعدها يقل الإجهاد تدريجيا نتيجة كسر الأواصر ضمن السلاسل الرئيسية وحتى الفشل عند النقطة D كما في الشكل ١. وليس من الضروري أن تمر اللدائن بكل هذه المراحل، فاللدائن الهشة لا تتجاوز حد التناسب ولا تعاني تشوها لدنا كما إن اللدائن المطاطية لا تعاني من الخضوع [12,13].

**الجانب العملي**

تم اعتماد مادة لدائنية قابلة للمعالجة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة بإضافة محلول مصلد (Hardener) إليها للحصول على المادة الرابطة (Epoxy) وذلك لتصنيع المواد المتراكبة المستخدمة في اختبار الشد وبكسر حجمي مقداره ٤٠% من مواد التسليح والتي تمثل الألياف الزجاجية (E-glass) والتي كانت بنوعين الأول: الألياف الزجاجية المنتظمة ذات الاتجاهية $0^o$–$90^o$ والثاني: الألياف الزجاجية عشوائية الاتجاه (Random). صنعت عدة ألواح من الايبوكسي قبل وبعد التدعيم بالألياف الزجاجية باستخدام طريقة التشكيل اليدوي

(Hand lay-up method) وبعدة طبقات من كلا النوعين من الألياف الزجاجية ، وقطعت جميع هذه الألواح إلى عينات بالقياسات 10X120 ملم ليتم بعد ذلك إجراء فحص الشد عليها. يبين الجدول ١. القيم النظرية المتوقعة لبعض الخواص الميكانيكية للمواد المستخدمة في الدراسة [14,15].

**الجدول ١: القيم النظرية المتوقعة للمواد المستخدمة.**

| Material | Density ($g/cm^3$) | Yield strength (MPa) | Tensile strength (MPa) | Percent elongation | Modulus elasticity (GPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| Epoxy | 1.1-1.4 | ----- | 27.6-90 | 3-6 | 2.41 |
| E-glass | 2.6 | ----- | 3450 | 4.3 | 72.5 |
| E-glass fibers-epoxy matrix ($V_f$=0.6) | | | | | |
| (Longitudinal direction) | ----- | ----- | 1020 | 2.3 | 45 |
| (Transverse direction) | ----- | ----- | 40 | 0.4 | 12 |

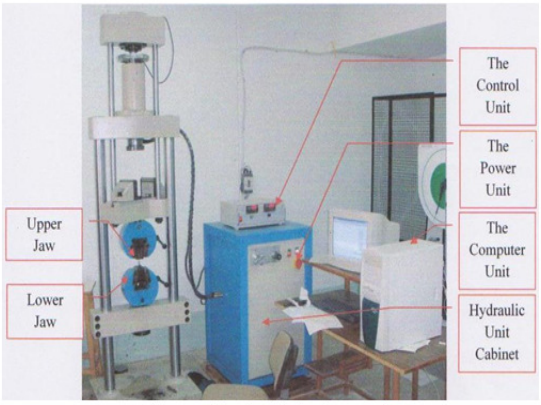
ويبين الجدول ٢ . العينات المستخدمة في اختبار الشد.

**الجدول ٢: العينات المستخدمة في اختبار الشد.**

| Numbers | Symbols | Samples |
|---|---|---|
| 1 | EP | عينات الايبوكسي غير المسلحة |
| 2 | EG1W | عينات الايبوكسي المسلحة بطبقة واحدة من الألياف الزجاجية (0-90°) |
| 3 | EG2W | عينات الايبوكسي المسلحة بطبقتين من الألياف الزجاجية (0-90°) |
| 4 | EG3W | عينات الايبوكسي المسلحة بثلاث طبقات من الألياف الزجاجية (0-90°) |
| 5 | EG1R | عينات الايبوكسي المسلحة بطبقة واحدة عشوائية من الألياف الزجاجية |
| 6 | EG2R | عينات الايبوكسي المسلحة بطبقتين عشوائيتين من الألياف الزجاجية |
| 7 | EG3R | عينات الايبوكسي المسلحة بثلاث طبقات عشوائية من الألياف الزجاجية |
| 8 | EG1W1R | عينات الايبوكسي المسلحة بطبقة واحدة (0-90°) وأخرى عشوائية من ألياف الزجاج |
| 9 | EG1W2R | عينات الايبوكسي المسلحة بطبقتين عشوائيتين بينهما طبقة (0-90) من ألياف الزجاج |
| 10 | EG2W1R | عينات الايبوكسي المسلحة بطبقتين(0-90°) بينهما طبقة عشوائية من ألياف الزجاج |

## جهاز اختبار الشد

استخدم جهاز الاختبار الموضح في الشكل ٢ لإجراء اختبار الشد لعينات الايبوكسي قبل وبعد التدعيم بالألياف الزجاجية، وذلك لحساب مقاومة الشد لهذه العينات. حيث يصل أقصى حمل لهذا الجهاز بحدود 200 KN، وهذا الجهاز مزود بحاسوب للحصول على نتائج الاختبارات والرسومات البيانية لها ومراقبة العينات طول فترة الاختبار. يوجد هذا الجهاز في قسم الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة– جامعة تكريت. في هذا البحث عملنا على أن تكون سرعة اختبار الشد لجميع العينات ثابتة طول فترة الاختبار وهي تساوي ١٠ ملم \ دقيقة ليتسنى لنا مقارنة نتائج الاختبار للعينات عندما تكون سرعة الاختبار ثابتة.



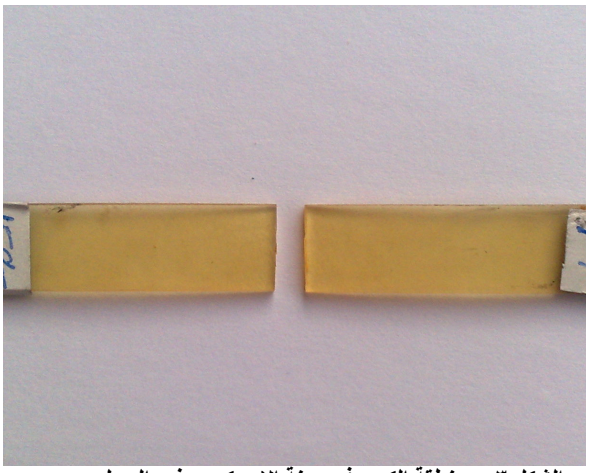

**شكل ٢: جهاز اختبار الشد.**

## النتائج والمناقشة

عندما تعرضت النماذج المحضرة لاختبار الشد إلى تأثير حمل شدي ثابت لوحظ إن مادة الايبوكسي قبل التدعيم بالألياف الزجاجية تبدي مقاومة ضعيفة وهي غير قادرة على تحمل اجهاد الشد مقارنة بالمادة بعد تدعيمها بالألياف كما هو موضح بالجدول ٣.، وذلك لتحمل الألياف الجزء الأكبر من الإجهاد الخارجي المسلط على المادة المتراكبة. وهذا بسبب خواص المقاومة والمرونة العالية التي تتميز بها الألياف بالنسبة للمادة الأساس التي وضيفتها الأساسية نقل الاجهادات وإيصالها إلى الألياف [16]. وبذلك نجد إن عينات الايبوكسي غير المسلح بالألياف الزجاجية لا تمر بمرحلة التشوه اللدن أثناء الفحص وان منطقة الكسر تكون هشة كما هو موضح (الشكل ٣).

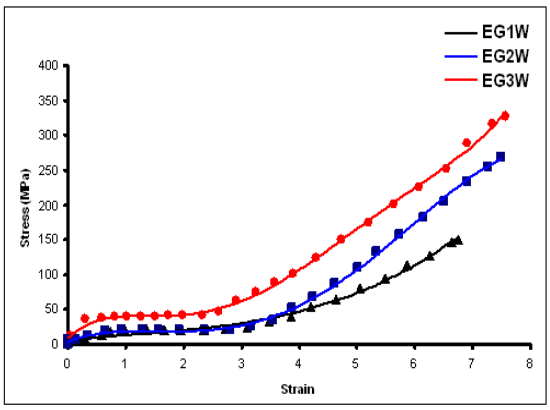
**الجدول ٣ :يبين نتائج اختبار الشد للعينات**

| Samples | Length ($L_o$) (mm) | Thickness (t) (mm) | Width (b) (mm) | Max stress (MPa) | Max. load (N) | Elongation (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EP | 40 | 1.5 | 10 | ----- | ----- | ----- |
| EG1W | 40 | 1.0 | 10 | 150 | 1861 | 0.8 |
| EG2W | 40 | 1.25 | 10 | 254.1 | 3176 | 2.0 |
| EG3W | 40 | 2.0 | 10 | 327.8 | 6556 | 1.0 |
| EG1R | 40 | 1.0 | 10 | 80.0 | 800 | 0.5 |
| EG2R | 40 | 2.0 | 10 | 123 | 2460 | 0.8 |
| EG3R | 40 | 3.5 | 10 | 109 | 3815 | 2.0 |
| EG1W1R | 40 | 1.8 | 10 | 169 | 3042 | 1.8 |
| EG1W2R | 40 | 3.0 | 10 | 159.5 | 2480 | 0.6 |
| EG2W1R | 40 | 2.2 | 10 | 198.2 | 4360.1 | 0.9 |

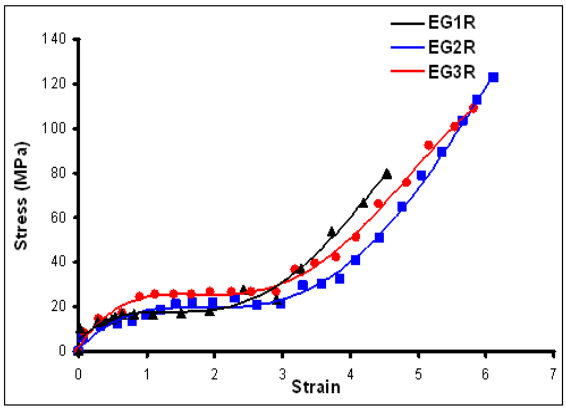


**الشكل ٣ : منطقة الكسر في عينة الايبوكسي غير المسلح**

لقد أظهرت النتائج المبينة في الجدول ٣. والخاصة باختبار الشد إن مقاومة الشد للعينات تزداد بازدياد عدد طبقات التسليح للألياف الزجاجية ولكلا النوعين من الألياف الزجاجية وبكسر حجمي مقداره ٤٠%، كذلك فان مقاومة الشد بالنسبة لعينات الايبوكسي المدعم بالألياف الزجاجية ذات الاتجاهية $0-90^o$ هي أعلى من مثيلاتها المدعمة بالألياف الزجاجية عشوائية الاتجاه (Random). حيث لوحظ إن اتجاه تأثير الإجهاد بالنسبة إلى اتجاه ترتيب الألياف ضمن المادة المتراكبة عامل مهم ومؤثر في الخواص الميكانيكية ، لذا فهي تعد من المواد ذات الخواص الاتجاهية. فقد وجد إن سلوك الإجهاد – الانفعال لراتنج الايبوكسي المدعم بألياف الزجاج نوع (E-glass) القصيرة العشوائية الترتيب يختلف عن سلوك الراتنج المدعم بنفس النوع من الألياف والمحاكة بشكل حصيرة $0-90^o$ ويتضح هذا الاختلاف في السلوك من خلال الفروقات المميزة بينهما في قيم مقاومة الشد القصوى للحالتين. أي انه يمكن القول في حالة التدعيم بألياف الزجاج العشوائية تكون تلك الألياف الموازية أو تقريبا موازية لاتجاه التحميل هي القادرة على أن تعطي التقوية الكافية للمادة المتراكبة في حين إن الألياف المتجهة باتجاهات مغايره أو عمودية على اتجاه التحميل لا تساهم في عملية التقوية. تبين الأشكال ٤ و٥ منحنيات الإجهاد – الانفعال لعينات الايبوكسي المدعمة بألياف الزجاج المنتظمة والعشوائية على التوالي.



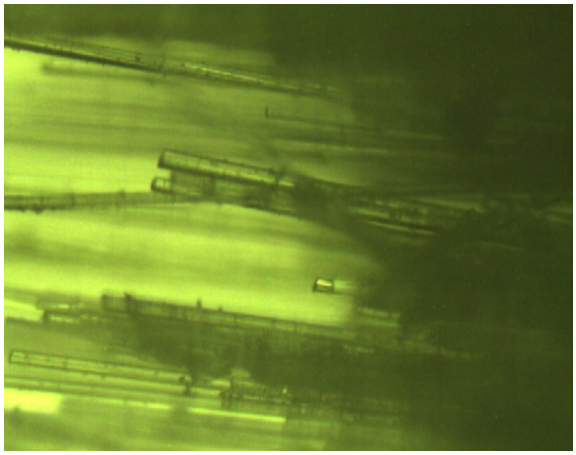

**الشكل ٤ : منحني الإجهاد– الانفعال لعينات الايبوكسي المدعمة بألياف الزجاج المنتظمة $0-90^o$.**




**الشكل ٥: منحني الإجهاد– الانفعال لعينات الايبوكسي المدعمة بألياف الزجاج العشوائية.**

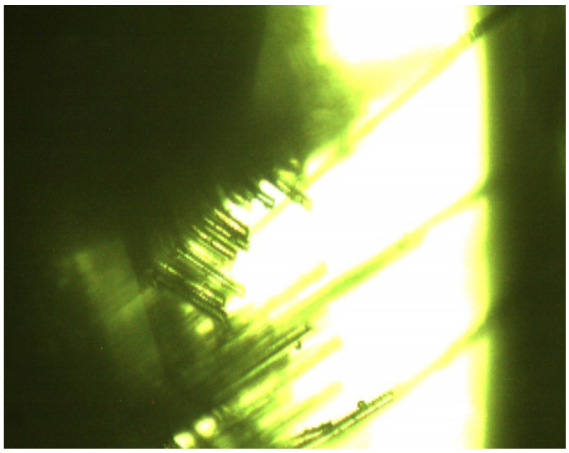
للتعرف على طبيعة سطح الكسر الحاصل للعينات بعد انتهاء اختبار الشد استخدم مجهر من نوع أولمبس ياباني الصنع مزود بكاميرا والذي من خلاله تم تصوير سطح العينات قبل وبعد الاختبار. لقد لوحظت حالتان لنمط الفشل الحاصل في العينات تمثلت الأولى بالفشل الهش السريع الذي حصل بصورة مميزة لعينات الايبوكسي غير المسلح كما هو مبين الشكل ٣ . أما الحالة الثانية فتمثلت بالتشوه اللدن المطيلي الذي ظهر بشكل واضح في العينات المدعمة بألياف الزجاج المحاكة ذات الاتجاهية $0-90^o$، وعند ملاحظة منطقة الكسر لهذه العينات نجد إن هناك انسلال واضح للألياف الزجاجية في منطقة الكسر بشكل حزم مما يؤدي ذلك إلى جعل سطح الكسر خشنا جدا لان انسلال الألياف بهذا الشكل يسمح للمادة الأساس أن تتشوه

وتمتص مقدار اكبر من الطاقة قبل أن تفشل بصورة نهائيـــة ، ويبدو ذلك واضحا الشكل ٦.



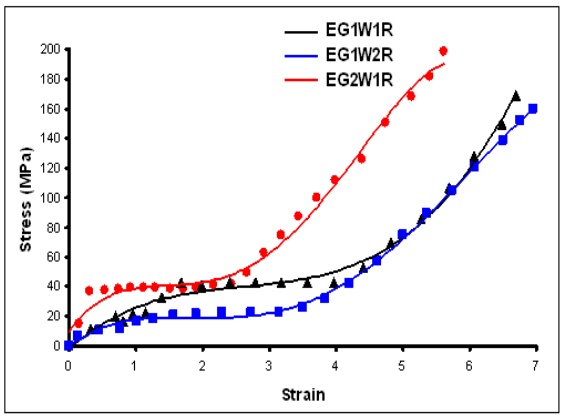
**الشكل ٦: انسلال الألياف الزجاجية في منطقة الكسر لعينة الايبوكسي (EG2W).**

أما بالنسبة للألياف الزجاجية العشوائية فنجد إن هناك انسلال للألياف بصورة منفردة اقل مما هو موجود بالنسبة للألياف الزجاجية المحاكة ذات الاتجاهية $0-90^o$ الأمر الذي أدى إلى الحصول على منطقة كسر ناعمة للمادة المتراكبة كما هو موضح الشكل ٧.



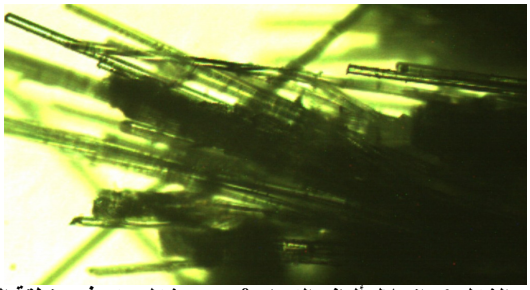
**الشكل ٧: انسلال الألياف الزجاجية في منطقة الكسر لعينة الايبوكسي (EG2R).**

أما بالنسبة لعينات الايبوكسي المدعمة بكلا النوعين من الألياف الزجاجية وبكسر حجمي مقداره ٤٠% فنجد إن مقاومة الشد بالنسبة للعينات المدعمة بطبقتي ألياف زجاج محاكة بالاتجاهية $0-90^o$ تفصل بينهما طبقة واحد عشوائية من ألياف الزجاج (EG2W1R)هي أعلى من العينات المدعمة بطبقة واحدة من الألياف الزجاجية المنتظمة $0-90^o$ وأخرى عشوائية الاتجاه (EG1W1R) وهذه بدورها اعلي من العينات المدعمة بطبقتي ليف زجاجي عشوائي تفصل بينهما طبقة واحدة من الألياف الزجاجية المنتظمة (EG1W2R) كما هو موضح بالجدول ٣ والشكل ٨. الذي يمثل المخطط البياني بين الإجهاد – الانفعال لهذه العينات.

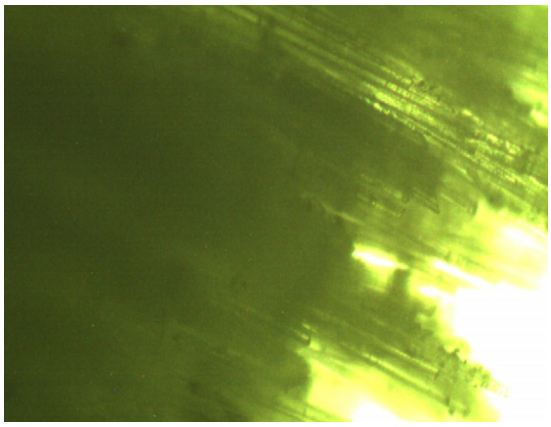



**الشكل ٨: منحني الإجهاد– الانفعال لعينات الايبوكسي المدعمة بألياف الزجاج المنتظمة $0-90^o$ والعشوائية.**

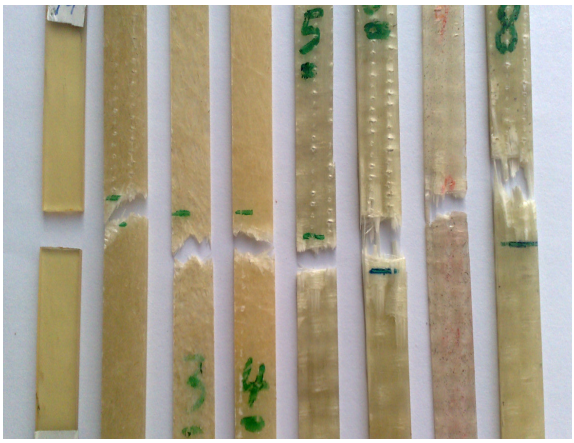
وعند ملاحظة الصور المجهرية لهذه العينات نجـد إن هنـاك انسلال لألياف الزجاج المنتظمة ذات الاتجاهية $0-90^o$ بشـكل حزم في منطقة الكسر اكبر مما هو عليـة بالنسـبة للألياف العشوائية كما مبين بالصورة المجهرية في الشكل ٩. ، وبالتالي يمكن القول إن معظم الإجهاد المسلط على هذه العينات سـوف تتحمله الألياف الزجاجية المنظمة $0-90$ المترتبـة بمـوازاة الإجهاد المسلط. أما الألياف العشوائية فان القليل منها والـذي يكون بموازاة الإجهاد هو القادر على إعطـاء تقويـة للمـادة المتراكبة وبالتالي نلاحظ انسلال تلك الألياف بصورة منفردة في منطقة الكسر وكما هو موضح بالصورة المجهرية في الشـكل ١٠. يبين الشكل ١١. صورة فوتوغرافية للعينات بعد انتهـاء مرحلة اختبار الشد وفشل هذه العينات وانفصالها إلى جزئيين.



**الشكل ٩: انسلال ألياف الزجاج $0-90^o$ بشكل حزم في منطقة الكسر للعينة (EG1W1R).**



**الشكل ١٠: منطقة الكسر لعينة الايبوكسي (EG1W1R) من جهة التسليح بألياف الزجاج عشوائية الاتجاه.**



**الشكل ١١: العينات بعد انتهاء مرحلة اختبار الشد وفشل هذه العينات وانفصالها إلى جزأين.**

## الاستنتاجات

١. تمتلك عينات الايبوكسي المدعمة بالألياف الزجاجية ذات الاتجاهية $0-90^o$ مقاومة شد أعلى من تلك العينات المدعمة بالألياف الزجاجية العشوائية وبكسر حجمي مقداره ٤٠%.

٢. تزداد مقاومة الشد للعينات بازدياد عدد طبقات التسليح ولكلا النوعين من الألياف الزجاجية المنتظمة $0-90^o$ والعشوائية الاتجاه.

٣. إن التدعيم بالألياف الزجاجية يكون ذا أهمية كبيرة في زيادة مقاومة الشد للعينات السلحة بها.

٤. تكون منطقة الكسر لعينات الايبوكسي غير المدعمة بالألياف هشة وذلك لعدم وجود ما يمنع تقدم الشقوق أثناء إجراء الاختبار.

٥. هناك انسلال واضح للألياف الزجاجية المنتظمة ذات الاتجاهية $0-90^o$ بشكل حزم في منطقة الكسر للعينات المدعمة بهذا النوع من الألياف.

٦. إن المادة المتراكبة المحضرة تكون متباينة الخواص أي إنها تكون ذات متانة شد عالية عندما يكون الإجهاد المسلط بموازاة الألياف ، وفي نفس الوقت تكون ضعيفة عندما يكون الإجهاد المسلط عموديا على اتجاه ألياف التسليح ويبدو ذلك واضحا بالنسبة للعينات المدعمة بالألياف المقطعة عشوائية الاتجاه.

## المصـــــــادر


١. فاتن نعمان عبد الله **٢٠٠٧**. " دراسة تأثير الحجم الحبيبي للدقائق ودرجة حرارة التشكيل على الخواص الميكانيكية للمواد المركبة ذات الأساس من البوليمر" *مجلة الهندسة والتكنولوجيا*، المجلد ٢٥، العدد ٥،

2. J. Morton and E. W. Godwin, **1989** "Composite Structures", Vol. **13**, No. 1, PP. 1-5.

٣. إيناس محي هادي **١٩٩٩**" دراسة الخواص الميكانيكية والحرارية للبولي استر غير المشبع والمدعم بدقائق سيراميكية " رسالة ماجستير – الجامعة التكنولوجية .

4. M. A. Meyers and K. K. Chawal, **1999**,"Mechanical Behavior of Materials", Prentice – Hall, Inc,

٥. م. ف. اشبي و د. ر. هـ. جونس، **١٩٩٠** "المواد الهندسية– مدخل لخواصها وتطبيقاتها"، ترجمة د. جعفر طاهر الحيدري – قسم هندسة الانتاج والمعادن – الجامعة التكنولوجية – بغداد .

٦. أوهام محمد حميد السعدي **٢٠٠٠** " دراسة تأثير التدعيم بالألياف على الخصائص الفيزيائية لمواد متراكبة " رسالة ماجستير – الجامعة التكنولوجية .

٧. حارث إبراهيم جعفر **١٩٩٢** " تأثير الرطوبة وسمك العينات على متانة الطبقات البينية لمتراكب

البولي استر المسلح بالألياف الزجاجية " رسالة ماجستير – جامعة بغداد – كلية العلوم .

8. J. John, M. Barson, T. Stanely Ralfe, **1987** "Fracture and Fatique Control Structures" , Published by Prentice Hall, Inc. New Jersey .
9. B. Michael, **1989**"Encyclopidai of Material Science and Engineering" , Vol. **5**.

١٠. د. كوركيس عبد آل آدم ، د. ذنون عبد العزيز ، **١٩٨٠** " كيمياء الجزيئات الكبيرة "، جامعة البصرة –.

11. A. Brent Strong, **2000**"Plastic materials and processing" second edition, Brigham young university, New Jersey,.
12. W. D. Callister Jr, **2000** "Materials Science and Engineering: An introduction", Fifth edition, Wiley.

١٣. د. كوركيس عبد آل آدم ، د. حسين علي كاشف الغطاء ، **١٩٨٥**" تكنولوجيا وكيمياء البوليمرات " ، جامعة البصرة .

١٤. رائد خضر سلمان ،**٢٠٠٢** " الخصائص الميكانيكية المثلى لمواد متراكبة بوليمرية باستخدام التمثيل الحاسوبي " ، رسالة ماجستير – جامعة الأنبار – كلية العلوم .

15. William D. Callister, Jr. **2000** "Materials Science and engineering an introduction", Department of metallurgical engineering the university of Utah.

١٦. ف. بيلي ،**١٩٨٥** " مباديء هندسة المعادن والمواد " ، ترجمة د. حسين باقر – قسم هندسة الإنتاج والمعادن – الجامعة التكنولوجية .