دراسة تأثير إضافة ألياف التقوية على بعض الخواص الميكانيكية للمواد المركبة المتقدمة

علي إبراهيم الموسوي علي جاهل سلمان
المعهد التقني – بابل المعهد التقني – بابل

الخلاصة

يهدف البحث الحالي إلى دراسة بعض المفاهيم والخواص المهمة في تصنيع المواد المركبة المتقدمة ذات أساس بوليميري والمقواة بالألياف ، حيث تعتبر المفاهيم مقدمة لبعض الخواص المهمة للمواد البولميرية المقواة بالألياف والمتعلقة بنسب مكوناتها من الألياف والمادة الأساس وبعض الخواص الميكانيكية (الشد ،الصدمة ،الإنضغاط ،الإنثناء ،الصلادة وغيرها) . يتناول هذا البحث إضافة نسب وزنية مختلفة من ألياف كيفلار أحادية الإتجاه ذات كثافة سطحية ($340\ g/cm^2$) والمستخدمة في تقوية راتنج الفنيل أستر وتأثير هذه الإضافة على الخواص الميكانيكية لهذا الراتنج وقد شملت هذه الخواص كل من مقاومة الصدمة والشد و الإنضغاط و الإنثناء والصلادة حيث تم في البداية إستخراج الخواص الميكانيكية لراتنج الفنيل أستر قبل تقويته بالألياف بعدها تم إضافة نسب وزنية مختلفة من ألياف كيفلار إلى الراتنج (20%,40%,60%) و دراسة تأثير ذلك على الخواص المذكورة .

الكلمات الدالة : المادة المركبة المتقدمة ، الخواص الميكانيكية .

STUDY THE EFFECT OF REINFORCING FIBERS ON SOME MECHANICAL PROPERTIES OF ADVANCED COMPOSITE MATERIALS

Ali I. Al-Mosawi Ali J. Salaman
Technical Institute-Babylon Technical Institute-Babylon

ABSTRACT

This research aims to study some aspects and important properties in manufacturing of polymeric advanced composite materials reinforced by fibers will be studied ,these aspects show as introduction to some important properties of polymeric composite materials reinforced by fibers related with its composition and some mechanical properties (Tension ,Impact, Compression, Flexural, etc) .The objective of this research is to study the effect of using different reinforcement percentage of fibers on mechanical properties for composite material consist of vinyl ester resin reinforced by unidirectional Kevlar fibers with surface density (340 g/cm^2) which included impact , tensile, compression , and flexural strength , where we extracted the mechanical properties for vinyl ester resin before reinforced by fibers, then we reinforced the resin by different weight percentage from kevlar Fibers (20%,40%,60%) and studied its effect on the above mechanical properties .

المقدمة (Introduction).

تم تطوير المواد المركبة المتقدمة (Advanced Composite Materials) المقواة بالألياف ذات أساس بوليميري للتطبيقات التي تحتاج الجمع الإستثنائي بين المقاومة ، الجساءة ، والوزن الخفيف . إن الهدف الرئيسي من التقوية بالألياف هو لتحسين الخواص الفيزيائية ومنها الخواص الميكانيكية للراتنجات حيث تزداد مقاومة الشد والصدمة والصلادة بشكل كبير مما يسمح بإستخدام هذه المواد المقواة في مجالات صناعية أوسع وتحت ظروف أقسى [١]. إن الألياف في هذا النوع من المواد المركبة هي المسؤول الرئيسي عن تحمل الأحمال الخارجية ، ومن أكثر أنواع الألياف شيوعاً في مجال المواد المركبة المتقدمة هي ألياف كيفلار والكاربون وألياف كيفلار [١]. إن الإستخدام العام للمادة المركبة يعتمد بشكل كبير على الخواص الميكانيكية والفيزيائية لهذه المواد لذلك فإن دراسة هذه الخواص تحت تأثير القوى والأحمال في ظروف مختلفة يكتسب أهمية كبيرة لمعرفة مدى ملائمة هذه الخواص لمكان عمل هذه المواد [٢]. هنالك أربعة أنواع من المواد المركبة المتقدمة والمدرجة أدناه [٣]:

١- المواد المركبة راتنجية الأرضية (Resin-Matrix Composites): تستخدم ألياف ذات عالية المقاومة ومعامل المرونة مثل ألياف الكاربون إضافة إلى إمكانية إستخدامها إلى درجة(315ºC).

٢- المواد المركبة معدنية الأرضية (Metal-Matrix Composites) : يمكن إستخدامها في درجات حرارة عالية (1250 ºC) حيث الظروف المطلوبة هي المقاومة العالية مقرونة مع المطيلية والمتانة .

٣- المواد المركبة كاربون- كاربون (Carbon-Carbon Composites): تتحمل هذه المواد درجات حرارية عالية تصل إلى(3300 ºC) مع مقاومة أعلى بعشرين مرة من الكرافيت التقليدي وأقل كثافة بنسبة (٣٠%) .

٤- المواد المركبة السيراميكية (Ceramic Composites): تتصف هذه المواد بالوزن الخفيف ومقاومة درجات الحرارة العالية وإستقرارية في الأبعاد وعدم تأثرها بالظروف البيئية .

خواص المواد المركبة (The Properties of Composite Materials) .

تعتمد الإستخدامات العامة والهندسية للمواد المركبة إلى حد بعيد على خواصها الفيزيائية ومنها الخواص الميكانيكية والفيزيائية مثل مقاومة الشد والمرونة وقابلية المادة للإستطالة ومقاومتها للحرارة والظروف البيئية مثل الرطوبة وأشعة الشمس وغيرها من الخواص التطبيقية الأُخرى . إن جميع هذه الخواص تعتمد كثيراً على التركيب الجزيئي للراتنج وعلى وزنه الجزيئي وعلى القوى الجزيئية [٤]. تعتمد هذه الخواص إلى حد كبير على مواد التقوية وعلى المواد المضافة مثل الحشوات والملدنات . ومن الخواص التي تمت دراستها ما يأتي :

١- مقاومة الصدمة (Impact Strength): تُعبر مقاومة الصدمة عن قدرة المادة لمقاومة الكسر تحت تأثير حمل مفاجئ ، كما تعتبر مقياساً لمتانة المادة حيث المواد الأكثر متانة هي التي تبدي أعلى مقاومة للصدمة [٥] .

٢- مقاومة الشد (Tensile Strength) : تعتبر مقاومة الشد مقياساً لقابلية المادة على مقاومة القوى الساكنة التي تحاول سحب المادة وإنهيارها . تتكون المواد المركبة الليفية من ألياف قوية هشة مغمورة في المادة الأساس التي تتصف بكونها أكثر مطيلية [٦].

٣- مقاومة الإنضغاط (Compressive Strength) : تبين هذه المقاومة مدى تحمل المادة عند تعرضها إلى حمل إنضغاط ساكن قبل أن تنهار ، وتقاس عادة بوحدات (MPa) والقيم العالية تُشير إلى كبر قوى التماسك بين جزيئات المادة [٧].

٤- مقاومة الإنثناء (Flexural Strength): وتعتبر هذه الخاصية مقياساً لمقاومة الإنحناء ، ويمكن تعرفها على إنها أقصى حمل ساكن يمكن تسليطه على نموذج الإختبار قبل أن يخضع أو ينكسر وتقاس بوحدات (MPa) [١].

الجزء العملي (Partial Experiment) .

يتضمن الجزء العملي إعداد المواد الأولية إضافة إلى الإختبارات الميكانيكية التي تم إجراءها على المادة المركبة .

أولاً- المواد المستخدمة في البحث .

إستخدمت في هذا البحث المواد التالية:

1- راتنج الفنيل أستر (Vinyl Ester Resin) : تم إستخدام راتنج الفنيل أستر نوع (Deraken 510-a40) ذو كثافة ($1.21g/cm^3$) والمجهز من شركة (Dow Chemical). **الشكل رقم (١)** يوضح تركيبه الكيميائي.

2- ألياف كيفلار (Kevlar Fibers) : إستخدمت ألياف كيفلار بشكل ظفائر محاكة أحادية الإتجاه (٠°) ذات كثافة سطحية ($340g/cm^2$) .

ثانياً- تحضير النماذج (Preparation of samples) .

صُنعت أربعة أنواع من النماذج خاصة بالإختبارات التي تم إجراءها وهي:

١- **نماذج إختبار الصدمة** :تم تصنيع نماذج إختبار الصدمة حسب المواصفات القياسية (ASTM-E23) ، عمق الحز في النماذج (0.5 mm) ونصف قطر قاعدة الحز (0.25 mm) وبزاوية حز مقدارها (٤٥°) .أُستخدم جهاز فحص مقاومة الصدمة نوع شاربي (Charpy Impact Instrument) للتعرُف على مدى مقاومة المادة المركبة لحِمل الصدمة.

٢- **نماذج إختبار مقاومة الشد:** إعتمدت المواصفة القياسية (ISO-R-527) في تصنيع نماذج إختبار مقاومة الشد. إستخدم جهاز الإختبارات العام والمجهز من شركة (ZheJinang TuGong Instrument Co., Ltd) الصينية في قياس هذه الخاصية بحِمل (20 KN).

٣- **نماذج إختبار مقاومة الإنضغاط** : تم تصنيع نماذج إختبار مقاومة الإنضغاط حسب المواصفة (ASTM-D618) وهي بشكل منشور رباعي . إستخدم مكبس هيدروليكي نوع (Leybold Harris No.36110) لتعيين أقصى حمل إنضغاط يتحمله النموذج وبقسمة هذا الحمل على مساحة مقطع النموذج قبل التشوه تم إحتساب مقاومة الإنضغاط للنماذج كافة .

٤- **نماذج إختبار مقاومة الإنثناء** : أُعتمدت المواصفة القياسية (ASTM D790) في تصنيع نماذج الإختبار والتي كانت على شكل نماذج مستطيلة بأبعاد (10mm×135mm) . تم قياس مقاومة الإنثناء بطريقة الإختبار ثلاثي النقاط ويتم ذلك بإستخدام مكبس هيدروليكي متعدد الأغراض نوع (Leybold Harris No.36110) لقياس أقصى حمل مسلط على منتصف نموذج الإختبار .

أُضيفت نسب وزنية مختلفة من ألياف كيفلار (20%,40%,60%) لتصنيع نماذج الإختبارات أعلاه وبواقع ثلاث نماذج لكل نسبة وزنية وأخذ معدل القراءات لتقليص الإنحراف الحاصل في النتائج إن وجد.

النتائج والمناقشة (Results and Discussion).

الشكل رقم (٢) يوضح قيم مقاومة الصدمة مع نسبة التقوية بالألياف ، حيث يلاحظ إنخفاض مقاومة الصدمة لراتنج الفنيل أستر نظراً لهشاشته ولكن هذه المقاومة تبدأ بالزيادة بعد تقويته بألياف كيفلار نتيجة لكون الألياف سوف تتحمل الجزء الأكبر من طاقة الصدمة المسلطة على المادة المركبة مما يُحسن هذه المقاومة. وهكذا تزداد مقاومة الصدمة مع زيادة نسبة التقوية بالألياف إلى(٤٠%) و (٦٠%) وهذا يتفق مع ما توصل إليه الباحث (Ali)[٨] بأن زيادة محتوى الألياف يرفع مقاومة الصدمة .

الشكل رقم (٣) يمثل مقاومة الشد للمادة المركبة حيث تكون قيمة هذه المقاومة منخفضة جداً لراتنج الفنيل أستر بسبب كونه من المواد الهشة ولكن عند إضافة الألياف إلى هذه المادة تتحسن مقاومته للشد بصورة كبيرة حيث إن الجزء الأعظم من الجهد المسلط تتحمله الألياف مما يرفع مقاومة الشد للمادة المركبة وذلك لأن الألياف تتميز بمطيليتها المنخفضة .وتزداد مقاومة الشد بزيادة نسبة الألياف المضافة حيث تشغِل الألياف حيز أكبر داخل الراتنج مما يسمح بتوزيع الحِمل المسلط عليها بشكل أفضل وهو يتفق مع النتائج التي توصل إليها الباحثين (Abbas, Ali, Sajed) [٩] في كون إرتفاع قيمة مقاومة الشد بإضافة الألياف إلى راتنج الفنيل أستر .

الشكل رقم (٤) الذي يمثل إختبار مقاومة الإنضغاط للمادة المركبة حيث يلاحظ منه إرتفاع قيم مقاومة الإنضغاط للمادة المركبة الناتجة من التقوية بألياف كيفلار عما كانت عليه لراتنج الفنيل أستر ، حيث مقاومة الإنضغاط ترتفع بشكل حاد عند التسليح بألياف كيفلار نظراً لتوزيع الحِمل على الألياف وكذلك كفاءة الربط بين المادة الأساس وألياف التقوية مما ويرفع قيم مقاومة الإنضغاط . وتزداد مقاومة المادة المركبة للإنضغاط مع زيادة نسبة الألياف المضافة لنفس السبب المذكور أعلاه وهذا يتفق مع النتائج التي توصل إليها الباحثين (Abbas, Ali, Samara)[١٠] في تحسن مقاومة الإنضغاط لراتنج الفنيل أستر مع إضافة الألياف وزيادة محتواها.

الشكل رقم (٥) الذي يمثل إختبار مقاومة الإنثناء لراتنج الفنيل أستر المقوى بألياف كيفلار حيث تكون قيمة مقاومة الإنثناء منخفضة قبل التقوية بالألياف ، ولكن هذه المقاومة تبدأ بالإرتفاع لهذا الراتنج بعد تقويته بألياف كيفلار ويعود السبب في ذلك إلى إرتفاع معامل مرونة هذه الألياف مما يؤدي إلى تحملها إلى الجز ء الأكبر من الحمل المسلط على المادة المركبة مما يؤدي بدوره إلى زيادة مقاومة الإنثناء لهذه المادة المدعمة بالألياف . وتزداد هذه المقاومة مع زيادة نسبة التقوية بالألياف وهو يتفق أيضاً مع النتائج التي تم التوصل إليها من قبل الباحثين (Abbas, Ali, Samara)[١٠].

الإستنتاجات (Conclusions) .

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها يمكن الخروج بالإستنتاجات التالية :

١- إنخفاض قيم الخواص الميكانيكية لراتنج الفنيل أستر كونه من المواد الهشة .

٢- تحسُن قيم هذه الخواص الميكانيكية لراتنج الفنيل أستر بعد تقويته بألياف كيفلار أحادية الإتجاه .

٣- تزداد قيم الخواص الميكانيكية مع زيادة نسبة الألياف المضافة .

المصادر (References) .

1- P. Vincenzini and M. Singh "*Advanced Inorganic Fibrous Composites V* " , TransTech Publications, 2006

2- P.K. Mallick "*Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*", 3rd Edition , CRC Press, 2007**.**

3- E.P.DeGarmo, J.T. Black, and R.A. kohser " *Materials and processes in Manufacturing* " , 10th Edition , john Wiley & Sons , 2008 .

4- US Industry Forecasts to 2011 and 2016 "*Kevlar Fibers*", Freedonia , 2007.

5- B.A.Azhdar "*Impact Fracture Toughness of Fiber Reinforced Epoxy Resin*" ,M.SC Thesis ,U.O.T ,1992 .

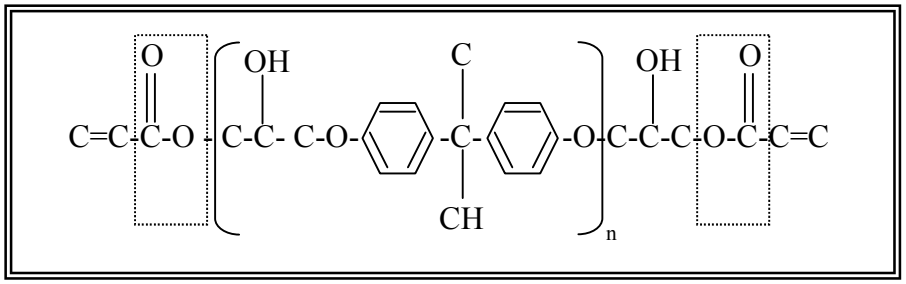
6- N.G.McCrum, C.P.Buckley and C.B.Bucknal "*Principal of Polymer Engineering*" , Second Edition , Oxford University Press , 1997 .

7- ***e***funda Engineering Fundamentals "*Polymer Material Properties*" ,2001.

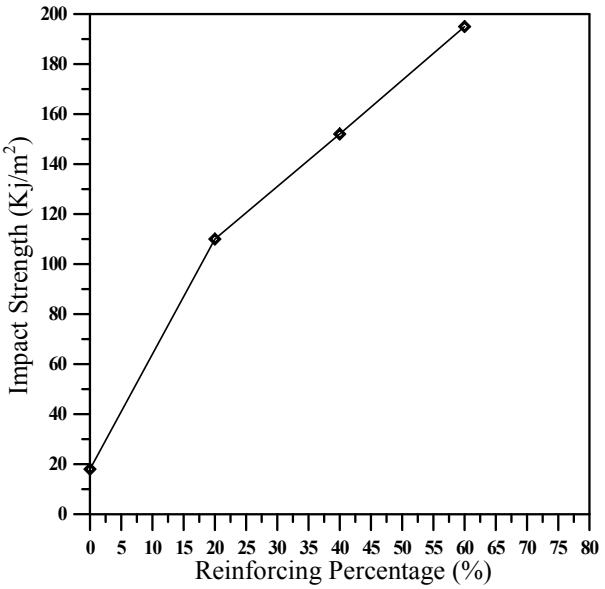
8- Ali I. Al-Mosawi "Study *of Some Mechanical Properties for Polymeric Composite Material Reinforced by Fibers* " , *Al-Qadessiyah Journal For Engineering Science* , Vol 2 , No 1 , 2009 . pp.14 – 24 .

9- Abbas A. Al-Jeebory, Ali I.Al-Mosawi, Sajed A. Abdul Allah "Effect *of Percentage of Fibers Reinforcement on Thermal and Mechanical Properties for Polymeric Composite Material* " , *The Iraqi- Journal for mechanical and materials Engineering* ,Special Issue, First Conference of Engineering College , Babylon University ,17-18 May, 2009 , pp.70 – 82 .

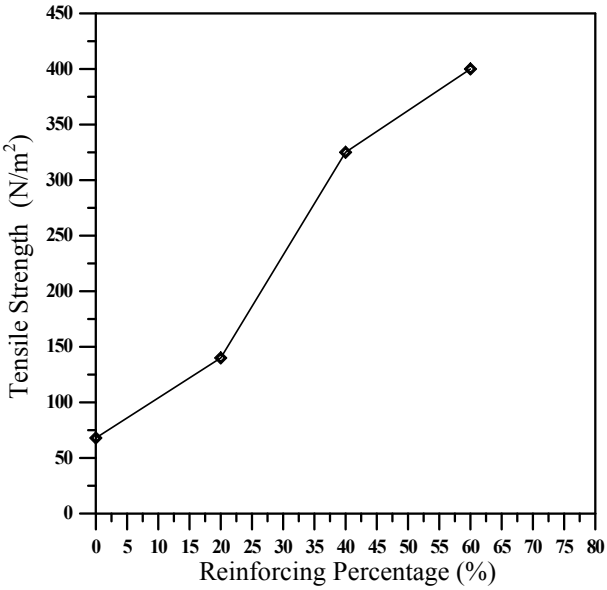
10- Abbas A. Al-Jeebory, Ali I.Al-Mosawi, Samara A. Al-Qurashi "*Difference Fibers Reinforcement percentage and its Effect on Mechanical Properties of Thermosetting Resins*" , *Al-Qadessiyah Journal For Engineering Science* ,Special Issue, second Conference of Engineering College , Al-Qadessiyah University ,19-20 October , 2009.



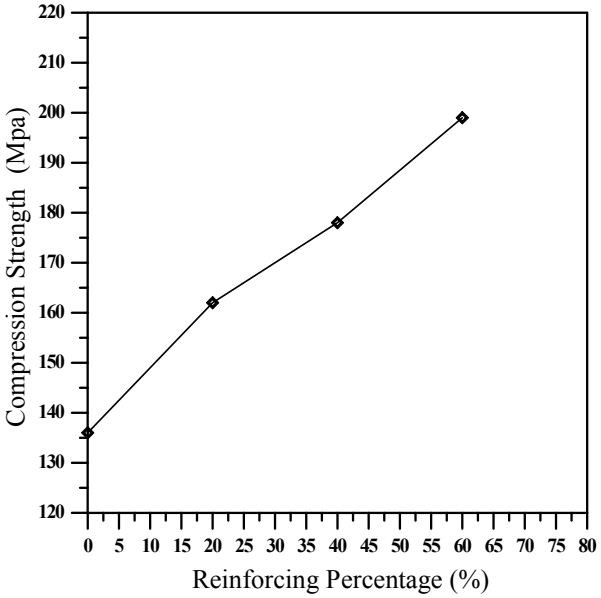
الشكل رقم (١) يوضح التركيب الكيميائي لراتنج الفنيل أستر[١]



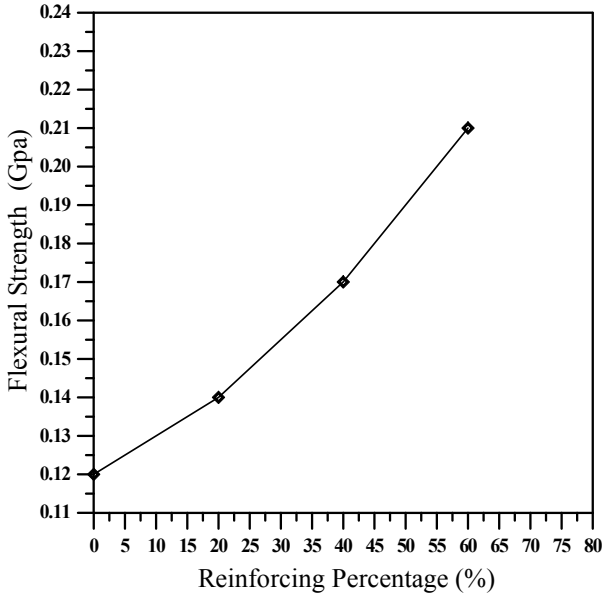
الشكل رقم (٢) : مقاومة الصدمة



الشكل رقم (٣) : مقاومة الشد



الشكل رقم (٤) : مقاومة الإنضغاط



الشكل رقم (٥): مقاومة الإنثناء