

إستخدام التقوية بألياف الكربون لتحسين الخواص الميكانيكية لراتنج البولي أستر غير المشبع⁺
USING OF REINFORCING BY CARBON FIBERS TO IMPROVEMENT
MECHANICAL PROPERTIES OF UNSATURATED POLYESTER
RESIN

علي جاهل سلمان*

المستخلص :

تم دراسة تأثير التقوية بألياف الكربون بشكل ظفائر محاكاة ثنائية الإتجاه (٠°-٩٠°) ذات كثافة (1.95 Kg/m^3) على الخواص الميكانيكية لراتنج البولي أستر غير المشبع بعد تقويته بنسب وزنية مختلفة من ألياف الكربون (20% , 40% , 60%) وقد شملت هذه الخواص كل من مقاومة الصدمة ، مقاومة الشد ، مقاومة الإنثناء ، مقاومة الإنضغاط ، والصلادة . حيث تم في البداية إستخراج الخواص الميكانيكية البولي أستر غير المشبع قبل التقوية بالألياف بعدها تم تقوية الراتنج بنسب وزنية مختلفة من الألياف و دراسة تأثير ذلك على الخواص المذكورة وكما موضح في المخططات البيانية بين الخواص الميكانيكية ونسبة التقوية بالألياف .
الكلمات الدالة : راتنج البولي أستر غير المشبع ، الخواص الميكانيكية ، ألياف الكربون .

Abstract :

Studying the effect of reinforcement by carbon fibers as woven roving (0°-90°) with density (1.95 Kg/m^3) on mechanical properties of unsaturated polyester resin after reinforcing it by different percentage of fibers (20%, 40%,60%) and these properties included : impact strength , tensile strength , compression strength , flexural strength , and hardness . the Mechanical properties were carried out for unsaturated polyester resin before and after reinforcement by fibers, and studied the effect on the above mechanical properties as illustrated in the diagrams between mechanical properties and reinforcing percentage .

Keywords: Unsaturated Polyester Resin , Mechanical Properties , Carbon Fibers .

المقدمة :

تتكون المادة المركبة من دمج مادتين أو أكثر تختلف في خواصها الميكانيكية والفيزيائية. إن عملية الدمج هذه تؤدي إلى الحصول على مادة جديدة ذات خواص هندسية و فيزيائية تختلف عن خواص المواد الداخلة في تركيبها . يعتمد الإستخدام العام للمادة المركبة 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 [١]. ومن أجل تصنيع مادة مركبة يجب توفر مادتين هما :

⁺ تاريخ استلام البحث ٢٠٠٩/١٢/١٤ ، تاريخ قبول النشر ٢٠١٠/٧/٢٠ .

* مدرس مساعد /المعهد التقني /بابل

١- المادة الأساس (Matrix Material) .

تكون مواد الأساس أما مواد معدنية متكونة من المعادن وسبائكها وتتميز بتقل وزنها ومناقتها العالية أو قد تكون مواد سيراميكية والتي تمتاز بخفة وزنها ومقاومتها المرتفعة لدرجات الحرارة العالية ولكنها ضعيفة المقاومة لقوى الصدم. كذلك تكون المادة الأساس مواد بوليميرية وهي الأكثر إستعمالاً وإنتشاراً لما تتميز به من خواص ميكانيكية وحرارية جيدة ، ومن الأمثلة على المواد البوليميرية راتنج الإيبوكسي و الفينول والبولي أستر[٢].

٢- مادة التقوية (Reinforcing Material) .

يجب توفر ميزتين أساسيتين في هكذا مواد وهي المقاومة العالية والمطيلية المنخفضة حتى تستطيع تقوية المواد الأساس . هناك عدة طرق للتقوية منها التقوية بالدقائق (Particulate) والتي تكون بقطر أكبر من (1 µm) ، كذلك تتم التقوية بالتشتت (Dispersed) ويكون قطر الدقائق أقل من (0.1µm). أما أكثر أساليب التقوية شيوعاً فهي التقوية بالألياف (Fibers) نظراً لما تتميز به من قوة كبيرة مقارنة بالمواد الراتنجية [٣].

قام الباحثون (Dorey , Sidey and Hutchings) بدراسة خاصة مقاومة الصدمة لمواد مركبة مقواة بألياف الكربون/كيفلار (٤٩) [٤]. أما الباحث (Ali) فقد قام بدراسة الخواص الميكانيكية والتي شملت مقاومة الصدمة ، مقاومة الشد ، مقاومة الإنثناء ، والصلادة لمادة مركبة مكونة من راتنج الإيبوكسي نوع كونيكسترا (EP-10) المقوى بألياف كيفلار بشكل ظفائر محاكاة ثنائية الإتجاه (٤٥°-٠°) [٥]. كذلك قام الباحثون (Abbas, Ali, Sajed) والذين درسوا تأثير تغيير نسبة التقوية بالألياف على الموصلية الحرارية الخواص الميكانيكية لمادة مركبة بوليميرية مكونة من راتنج الإيبوكسي نوع كونيكسترا (EP-10) المدعم بالألياف الزجاجية ثنائية الإتجاه (45°-0°) نوع (S) [٦]. أما الباحثون (Kiichi, Hiroshi, Joji, Masahiro, Satoshi, Hajime and Atsushi) فقد درسوا خواص مادة مركبة ذات أساس من الإيبوكسي/أكريليت .

يهدف البحث الحالي بالدرجة الأساس إلى تحسين الخواص الميكانيكية لراتنج البولي أستر غير المشبع والذي يعتبر من المواد الهشة عن طريق تقويته بألياف الكربون من أجل إستخدامه في المجالات الصناعية التي تتطلب من الأجزاء الميكانيكية أن تتحمل الإجهادات والأحمال المسلطة عليها بدون كسر أو خفض معدل الفشل لهذه الأجزاء بعد زيادة مقاومتها وهكذا أحمال .

الجزء العملي :

أولاً- المواد المستخدمة في البحث .

تم في هذا البحث إستخدام المواد التالية والتي تم تصنيع النماذج منها وهي :

١- راتنج البولي أستر غير المشبع (Unsaturated Polyester Resin) .

تم إستخدام راتنج البولي أستر غير المشبع (Palatel A420) والمصنع من قبل شركة (Saudi International Resin .Ltd (SIR) .

٢- ألياف الكربون (Carbon Fibers) .

تم إستخدام ألياف الكربون ثنائية الإتجاه (٩٠°-٠°) والمصنعة من قبل شركة (Hyfil Ltd .,UK) .

ثانياً- تحضير النماذج (Test Specimens Preparation) .

١- نماذج إختبار الصدمة (Impact Specimens) .

تم تصنيع نماذج إختبار الصدمة حسب المواصفات القياسية (ASTM-E23) والملائمة للفحص في جهاز الصدمة نوع شاربي (Charpy Impact) . 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) للتعرف على مدى مقاومة المادة المركبة لحمل الصدم .

٢- نماذج إختبار مقاومة الشد (Tensile Specimens) .

تم إعتداد المواصفة القياسية (ISO-R-527) في تصنيع نماذج إختبار مقاومة الشد. أُستخدم هذا الإختبار لمعرفة خواص المادة المركبة تحت تأثير حمل شد محوري بإتجاه واحد ، حيث تم إستخدام جهاز الإختبارات العام (Universal Instrument) في قياس هذه الخاصية وبمعدل حمل (20 KN) .

٣- نماذج إختبار مقاومة الإنضغاط (Compression Specimens) .

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 يتحملة النموذج وبقسمة هذا الحمل على مساحة مقطع النموذج قبل التشوه تم إحتساب مقاومة الإنضغاط للنماذج كافة .

٤- نماذج إختبار مقاومة الإنثناء (Flexural Strength Specimens) .

أُعمدت 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 .

٥- نماذج إختبار الصلادة (Hardness Specimens) .

تم تصنيع نماذج إختبار الصلادة على شكل أقراص دائرية بقطر (25 mm) وسمك (10 mm) . تم إستخدام طريقة برينل (Brinell Hardness) لحساب صلادة المادة المركبة ، حيث أُستخدمت كرة فولاذية بقطر (5 mm) مع تسليط حمل مقداره (10 Kg) لمدة (15 sec) وبعد زوال القوة المؤثرة يتم قياس قطر الأثر الناتج على السطح . تم إضافة نسب وزنية مختلفة من ألياف الكربون (20%، 40%، 60%) لتصنيع عينات الإختبارات أعلاه وبواقع ثلاث عينات مقواة بالألياف لكل نسبة وزنية إضافة إلى تصنيع عينة رابعة لكل إختبار غير مقواة بالألياف (رانتج فقط) للمقارنة مع التقوية بالألياف.

تم إستخدام القولية اليدوية في تحضير نماذج الإختبارات الميكانيكية . يرش القالب بمادة بولي فنيل الكحول الذي يسهل فصل النماذج من القالب . يتم إضافة المادة المعجلة إلى رانتج البولي أستر غير المشبع وتخلط جيداً معه تسمى هذه المادة (Cobalt octoate) والتي تحتوي على كوبالت فعال بنسبة (6%) بعدها تضاف إليه المادة المصلدة (MEKP) بنسبة (٢%) . يتم وضع كمية من الرانتج على سطح القالب الداخلي وتنتشر بفرشاة لضمان توزيعه بانتظام بعدها توضع الطبقة الأولى من الألياف ثم نضع كمية أخرى من الرانتج عليها وهكذا لبقية الطبقات لتتكون مادة مركبة بالسلك المطلوب . تم إستخدام الطريقة الوزنية في حساب كمية كل من الألياف والرانتج المستخدمة في تصنيع المادة المركبة. توضع المادة المركبة الناتجة في فرن درجة حرارته (75°C) لمدة ساعتين لإكمال التصلب .

النتائج والمناقشة :

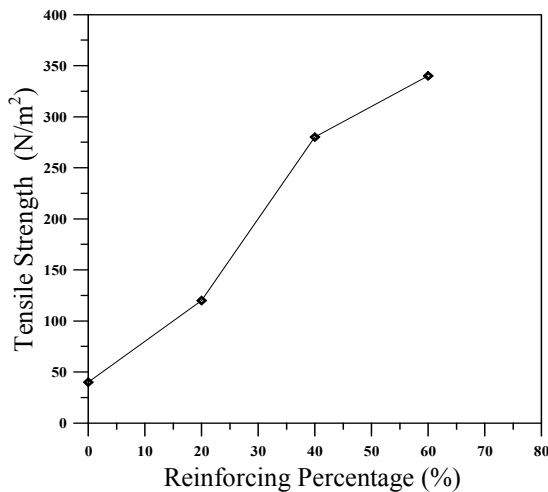
الشكل رقم (١) يوضح قيم مقاومة الصدمة مع نسبة التقوية بالألياف ، حيث تعتبر مقاومة الصدمة بشكل عام منخفضة للراتنجات نظراً لهشاشتها ولكن بعد تقويتها بالألياف تزداد قيمة مقاومة الصدمة ويرجع السبب في ذلك إلى كون الألياف سوف تتحمل الجزء الأكبر من طاقة الصدم المسلطة على المادة المركبة مما يُحسن هذه المقاومة . وهكذا تزداد مقاومة الصدمة مع زيادة نسبة التقوية بالألياف إلى (٤٠%) و (٦٠%) وهو يتفق مع النتائج التي توصل إليها الباحث (Dorey & Others) [٥].

تعتبر الراتنجات من المواد الهشة حيث مقاومتها للشد منخفضة جداً وهذا ما نراه في الشكل رقم (٢) ، ولكن عند إضافة الألياف إلى هذه المواد تتحسن مقاومتها 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 تشغل الألياف حيز أكبر داخل الراتنج مما يسمح بتوزيع الحمل المسلط عليها بشكل أفضل وهو يتفق أيضاً مع ما توصل إليه الباحث (Al-Mosawi) [٥] .

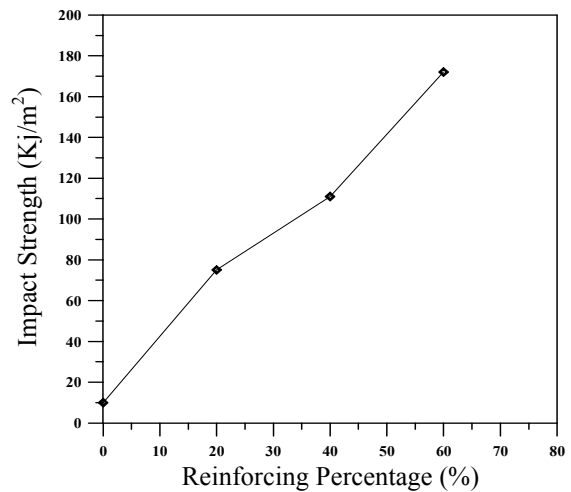
إن تقوية المواد الراتنجية بالألياف يؤدي إلى إرتفاع قيم مقاومة الإنضغاط للمادة المركبة الناتجة من هذا التقوية وهذا واضح من خلال الشكل رقم (٣) الذي يمثل إختبار مقاومة الإنضغاط لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الكاربون ، حيث مقاومة الإنضغاط ترتفع بشكل حاد عند التسليح بألياف الكاربون نظراً لتوزيع الحمل 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 وهو يتفق أيضاً مع ما توصل إليه الباحثين (Al-Jeebory & Others) [٦].

الشكل رقم (٤) الذي يمثل إختبار مقاومة الإنثناء لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الكاربون حيث تكون قيمة مقاومة الإنثناء منخفضة قبل التقوية بالألياف ، ولكن هذه المقاومة تبدأ بالإرتفاع لهذا الراتنج بعد تقويته بألياف الكاربون ويعود السبب في ذلك إلى إرتفاع معامل مرونة هذه الألياف مما يؤدي إلى تحملها إلى الجزء 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 وكما توصل إليه الباحث (Al-Mosawi) [٤] .

تتميز المواد اللدائنية بشكل عام بإنخفاض صلابتها حيث نلاحظ من الشكل رقم (5) تدني قيمة صلادة راتنج البولي أستر غير المشبع قبل التقوية بالألياف ، إلا إن قيمة الصلادة ترتفع بشكل حاد عند التسليح بألياف الكاربون نظراً لتوزيع الحمل على الألياف مما يقلل معدل الإختراق لسطح المادة المركبة ويرفع قيم صلابتها . وتزداد صلادة المادة المركبة مع زيادة نسبة الألياف المضافة لنفس السبب المذكور أعلاه وهو يتفق مع النتائج التي توصل إليها الباحث (Kiichi & Others) [٧] .



الشكل رقم (٢) : إختبار مقاومة الشد



الشكل رقم (١) : إختبار مقاومة الصدمة

الإستنتاجات :

- من خلال النتائج التي تم الحصول عليها يمكن الخروج بالإستنتاجات التالية :
- ١- إنخفاض قيم الخواص الميكانيكية لراتنج البولي أستر غير المشبع .
 - ٢- تحسُن قيم هذه الخواص الميكانيكية لراتنج البولي أستر غير المشبع بعد تقويته بألياف الكربون .
 - ٣- تزداد قيم الخواص الميكانيكية مع زيادة نسبة ألياف الكربون المضافة .

المصادر :

- 1- Moslem, A.I “ *Study Using of Antimony Trioxide Material as a Flame Retardant Material* ”, M.Sc Thesis , Babylon University , Iraq , 2003 .
- 2- P. Vincenzini and M. Singh “*Advanced Inorganic Fibrous Composites V*” , TransTech Publications, 2006 .
- ٣- DeGarmo ,E.P, Black, J.T , and Kohser ,R.A “ *Materials and processes in Manufacturing*” , 10th Edition , John Wiley & Sons,USA , 2008 .
- ٤- G.Dorey ,G.R.Sidey and J.Hutchings “*Impact Properties of Carbon Fiber/ Kevlar 49 Fiber Hybrid Composites*” , *Composites* ,Vol 9, pp.25-32 , 1978.
- ٥- Al-Mosawi, A. I “*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 .
- ٦- Al-Jeebory ,A. A, Al-Mosawi, A. I, Abdul Allah ,S. A “*Effect of percentage of Fibers Reinforcement on Thermal and Mechanical Properties for Polymeric Composite Material*” , *Iraqi Journal of Mechanical and Materials Engineering , Special Issue* , First Conference of Engineering College , Babylon University , 2009 .
- ٧- Kiichi Hasegawa¹⁾, Hiroshi Hirano¹⁾, Joji Kadota¹⁾, Masahiro ABE²⁾, Satoshi Matsuda²⁾, Hajime Kishi²⁾ and Atsushi Murakami²⁾. “*Properties of GFRP Using Matrix Resin of Epoxy/ Acrylate Interpenetrating Polymer Network*” , [Journal of the Society of Materials Science, Japan](#) Vol.54 No.4 . pp.447 – 452 , 2009.