دراسة خاصيتي الشد والأنضغاطية لمواد متراكبة مدعمة بالألياف

عبد المجيد عيادة أبراهيم السامرائي[1] ، عدنان رعد أحمد السامرائي[1] ، بلقيس محمد ضياء الدباغ[2]

[1] قسم الفيزياء ، كلية التربية ، جامعة تكريت ، تكريت ، العراق

[2] قسم العلوم التطبيقية ، الجامعة التكنلوجية ، بغداد ، العراق

(تاريخ الاستلام: 4 / 2 /2013 ---- تاريخ القبول: 22 / 4 /2013)

الملخص

في هذا البحث حضرت مواد متراكبة ؛ راتنج الايبوكسي (Sliox Ep400) كمادة اساس، بينما مواد التقوية اشتملت الياف (الكفلر، الكاربون ، الزجاج ، البولي بروبيلين ، البولي فينيل كلورايد) .

العينات المصنعة كانت بكسر حجمي (V_f = 25%) لكل الالياف المذكورة اعلاه .

المتراكبات الهجينة حضرت باستعمال الياف (البولي فينيل كلورايد مع الكاربون) و (البولي بروبيلين مع الزجاج) .

الخصائص الميكانيكية التي تم دراستها تضمنت (مقاومة الشد،مقاومة الأنضغاطية) .

أكدت النتائج البحثية الى أمتلاك الياف الكفلر أعلى قيمة لمقاومة الشد (163.53 Mpa) بينما اقل قيمة كانت لالياف البولي بروبيلين (3.79Mpa) .

أما في اختبار الأنضغاطية فقد أمتلكت الياف الزجاج أعلى قيمة لمقاومة الأنضغاطية (88.34 Mpa) بينما اقل قيمة كانت للمتراكب الهجين المكون من الياف البولي بروبيلين مع الياف الزجاج (32.01 Mpa) .

في جميع الخصائص الميكانيكية كان لدرجة الحرارة تأثير على جميع العينات .

الكلمات المرشدة

الألياف ، الخواص الميكانيكية ، المواد الهندسية ، المواد المتراكبة .

المقدمة

ان المواد المتراكبة تتكون من جزئين الاول المادة الاساس (Matrix) ، والجزء الثاني مادة التقوية (Reinforcement Material) ، اذ ان بعض المواد المتراكبة تكون ذات اساس معدني والتي توفر متانة وجساءة عاليتين اعلى من التي توفرها اللدائن والسيراميك وكذلك متانة كسر عالية ولكنها محدودة الاستعمال بسبب الوزن العالي للمادة الاساس المعدنية ، وهناك ايضا المواد المركبة ذات الاساس السيراميكي تمتاز بتحملها لدرجات الحرارة العالية لذلك تستخدم بكثرة في صناعة ريش التوربينات ، اما المواد ذات الاساس اللدائني والتي تتميز بسهولة التصنيع وقلة الكثافة والصفات الفزياوية الجيدة لهذا تستخدم في صناعة بعض اجزاء المركبات الفضائية ومراوح الطائرات وتدخل في هياكل الطائرات وأبدان الطائرات المروحية وكذلك تدخل في الصناعة البحرية كالقوارب والسفن الصغيرة وفي صناعة ابدان السيارات والادوات الرياضية وايضا في مجالات البناء وانشاء الجسور [1,2,3] .

المادة الاساس البوليميرية [polymer Matrix Material] غالبا ما تدعم بواسطة الالياف لما تتمتع به الالياف من خصائص ومميزات تختلف عن مواد التقوية الاخرى،وان لكل صنف من اصناف البوليمير المستخدم كمادة اساس خواص معينة وان هذه الخواص ليست خواص مطلقة بل تتاثر وتعتمد على عدة عوامل متعلقة بتركيب البوليمر وعوامل اخرى بيئية (Environmenta Factors) [4] .

ان تسليح الراتنجات بالالياف الصناعية كالياف الزجاج والكفلر والكاربون وغيرها يساعد على زيادة مقاومة المادة للظروف البيئية وعلى تحسين الخواص الميكانيكية بصورة واضحة ، وتعتمد هذه الخواص على طريقة التحضير ،الكسر الحجمي للمادة المقوية ، ونوع المادة [5] .

يكثر استخدام المواد المركبة في صناعة الطائرات (ايبوكسي– الياف الكاربون) و(ايبوكسي – الياف الكفلر) اذ يعتبران من اكثر المواد شيوعا في هذه الاستخدامات ، اذ ان هذه المواد تقلل الوزن ولذلك فهي تفضل على المعادن التقليدية ، كذلك من التطبيقات الشائعة في المواد المركبة هو المطاط الصناعي المستخدم في صناعة اطارات السيارات والتوصيلات المطاطية اذ يستخدم فيها مسحوق اسود الكاربون كمادة تقوية [6,7,8] .

الجانب العملي والنظري

في هذا البحث تم استخدام المادة الاساس وهي راتنج الايبوكسي (Epoxy Resin) نوع (Sliox Ep400) ، اما المصلد المستخدم فهو ((Metaphenylene Diamine (MPDA) وهو مادة سائلة خفيفة القوام ذات لون شفاف ،يضاف المصلد الى الراتنج بنسبة (3:1) أي (1g) من المصلد لكل (3g) من الايبوكسي ويحدث بينهما التفاعل عند درجة حرارة الغرفة ، اما مواد التقوية فقد اقتصرت على خمسة انواع من الالياف وهي الياف (الكفلر، الكاربون ، الزجاج ، البولي بروبيلين ، البولي فينيل كلورايد) .

اضافة الى استخدام رغوة السيلكا المسماة تجاريا بالايروسيل (Aerosial 200) ذات كثافة مقدارها ($2gm/cm^3$) وحجم حبيبي (0.012µm) ومساحة سطحية ($200m^2/gm$) [9] .

الغرض من استعمالها لمنع ترسيب الالياف ضمن راتنج الايبوكسي لذا تم خلط نسبة قليلة جدا من رغوة السيلكا وبنسبة (1%) من الكسر الحجمي الكلي، اذ تعد هذه المادة ذات تاثير كبير في السيطرة على اللزوجة .

تم تهيئة قالب خاص لعملية الصب مصنوع من الحديد المغلون وبابعاد (25×25cm) ،اما المتراكبات فكانت بكسر حجمي (25%) وذلك بالاعتماد على العلاقات الاتية [10] :

$$\Psi = \frac{W_f}{W_c} \times 100\% \quad (3.1) \quad (1)$$

$$W_c = W_f + W_m \quad (3.2) \quad (2)$$

$$\phi = \frac{1}{1 + \frac{1-\Psi}{\Psi} \cdot \frac{\rho_f}{\rho_m}} \quad (3)$$

حيث:

Ψ: الكسر الوزني للالياف في المتراكب .

W_c, W_m, W_f: وزن الالياف والمادة الاساس والمتراكب على التوالي .

ρ_f, ρ_m: كثافة الالياف والمادة الاساس على التوالي .

Φ: الكسر الحجمي للالياف في المتراكب .

تم اتباع تقنية القولبة اليدوية (Hand Lay-Up Molding) في عملية تحضير القوالب والتي اشتملت على المتراكبات الاتية :

- المادة المتراكبة الاولى : الايبوكسي المدعم بحصيرة من الياف الزجاج .
- المادة المتراكبة الثانية : الايبوكسي المدعم بحصيرة من الياف الكفلر. المادة المتراكبة الثالثة : الايبوكسي المدعم بحصيرة من الياف البولي بروبيلين .
- المادة المتراكبة الرابعة : الايبوكسي المدعم بحصيرة من الياف البولي فينيل كلورايد .
- المادة المتراكبة الخامسة : الايبوكسي المدعم بالياف الكاربون .
- المادة المتراكبة السادسة : الايبوكسي المدعم بحصيرة من الياف الزجاج والياف البولي بروبيلين الهجينة .
- المادة المتراكبة السابعة : الايبوكسي المدعم بحصيرة من الياف الكاربون والياف البولي فينيل كلورايد الهجينة .

مقاومة الشد القصوى تم حسابها من المعادلة الاتية [11] :

$$Su = \frac{\rho_{max}}{A} \quad (4)$$

اذ ان :

ρ_{max} : اقصى حمل يتحمله النموذج .

A : مساحة المقطع العرضي للنموذج .

اما مقاومة الاتضغاط فتعرف على انها اعظم اجهاد تقاومه المادة الجسوءة (Rigid Material) تحت الضغط العمودي،وهذه المقاومة تقاس عن طريق قسمة الحمل المسلط على وحدة المساحة للمقطع العرضي الابتدائي المعرض للحمل [12] .

النتائج والمناقشة

أختبار الشد

ان اختبار الشد يعد و احدا من ابسط واوضح الطرق لقياس الخواص الميكانيكية للمواد ،اذ ان مقاومة الشد تعطي معلومات عن مقاومة المواد للاستطالة او الكسر عند التعرض لقوة [13,14] .

ان الالياف تتحمل الجزء الاكبر من الاجهاد الخارجي المسلط على المادة المتراكبة وهذا بسبب خواص المقاومة والمرونة العالية التي تتميز بها الالياف بالنسبة للمادة الاساس التي وظيفتها الاساسية نقل الاجهادات وايصالها الى الالياف ، لذا يعد التدعيم بالالياف ذو اهمية كبيرة في تحسين الخواص الميكانيكية بشكل عام وفي زيادة مقاومة الشد بشكل خاص [15] .

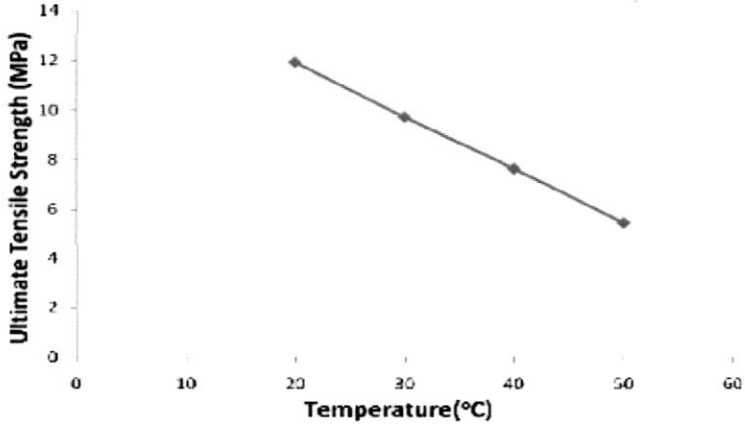
الجدول (1) قيم مقاومة الشد القصوى مع اختلاف درجات الحرارة

Type of Material	Su(Mpa)			
	20±2°C	30±2°C	40±2°C	50±2°C
Ep+P.V.C	11.93	9.72	7.65	5.47
Ep+C.F	14.02	11.98	9.65	6.99
Ep+K.F	163.53	119.62	105.33	97.63
Ep+P.P	3.79	3.11	2.74	2.11
Ep+G.F	133.63	98.62	81.45	73.12
Ep+P.V.C+C.F	8.48	6.87	5.21	4.12
Ep+P.P+G.F	6.74	5.41	4.53	3.23

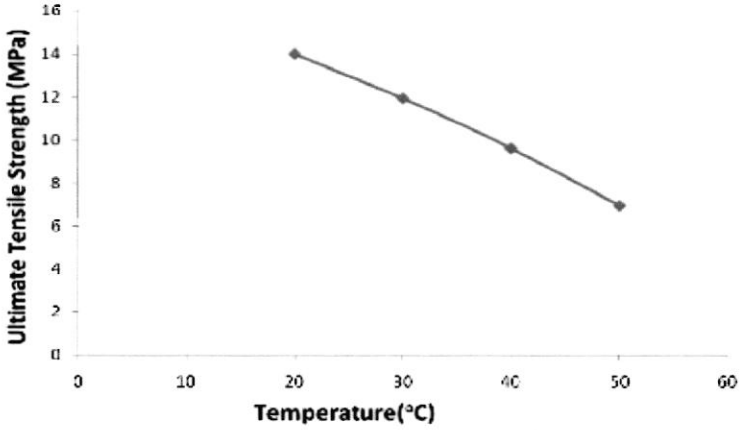
نلاحظ من خلال القيم المثبتة في الجدول (1) ان اعلى مقاومة شد كانت لراتنج الايبوكسي المدعم بالياف الكفلر لما تتمتع به هذه الالياف من متانة عالية اذ يتوجب زيادة مقدار الاجهاد المسلط على المادة المتراكبة لغرض حدوث الكسر ، لهذا تعتبر الياف الكفلر عناصر معيقة للتشقق (Crack Arrestors) ، وعلى العموم بعد تدعيم البوليمرات بالالياف تكتسب الاخيرة مقاومة شد عالية وذلك بسبب انتقال الاجهادات عبر المادة البوليمرية الى الالياف ، وبصورة خاصة تكون فاعلية الالياف اكبر بكثير عندما تكون متراصة (Aligned) باتجاه مواز لاتجاه تسليط الحمل الشدي اكثر منها عندما تكون باتجاه عمودي عليه [16] .

عند تسليط اجهاد الشد باتجاه مواز لطول الياف الكفلر ، نجد انها تتصرف كمادة ذات متانة عالية بسبب احتوائها على سلاسل بوليمرية

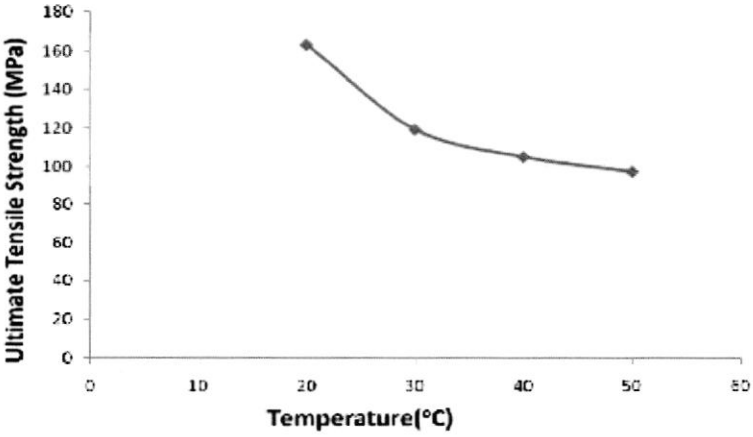
على درجة عالية من التراصف (Algnment) ، نتيجة لعملية الشد والسحب التي مرت بها اثناء تصنيعها ، وفي تلك المرحلة تتعرض لاجهاد مواز لاتجاه تلك السلاسل ، ونتيجة لذلك فان الاواصر التساهمية القوية التي تربطها هي التي ستتحمل ذلك الاجهاد بينما تتحمل قوى فاندرفالز والاواصر الهيدروجينية الضعيفة الاجهاد عندما يكون اجهاد انضغاط فهذا يؤدي الى حدوث التليف (Fibrillation) والتعقد (Kinking) [17] .



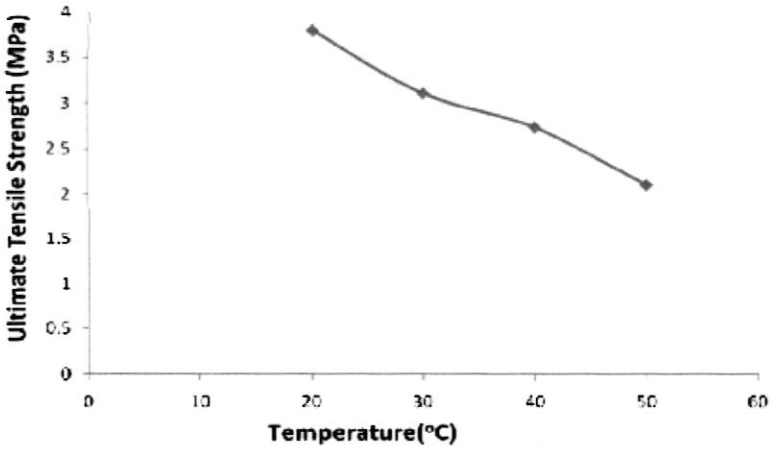
الشكل(1) يبين تاثير درجة الحرارة على قيم متانة الشد القصوى (Su) لنموذج Ep+P.V.C



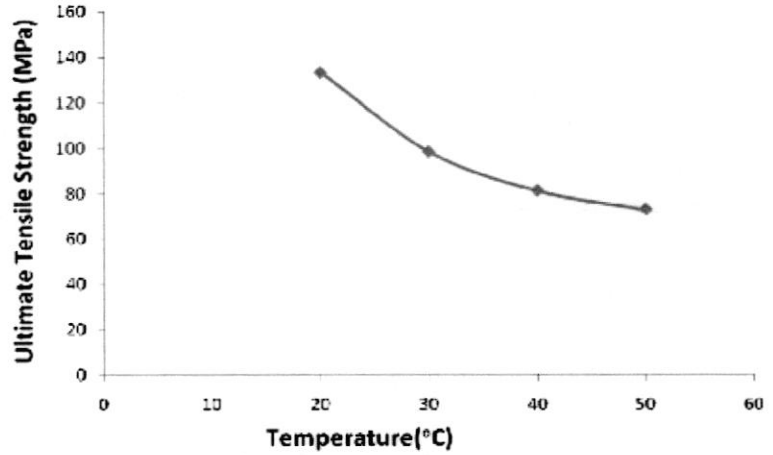
الشكل(2) يبين تاثير درجة الحرارة على قيم متانة الشد القصو ى (Su) لنموذج Ep+C.F



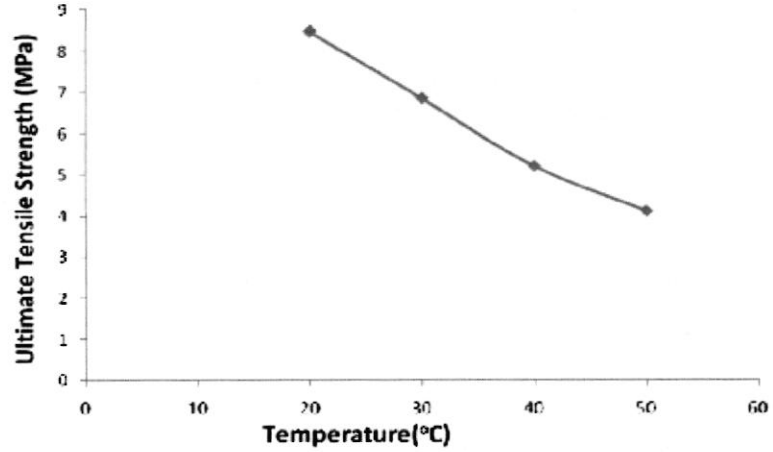
الشكل(3) يبين تاثير درجة الحرارة على قيم متانة الشد القصوى (Su) لنموذج Ep+K.F



الشكل(4) يبين تاثير درجة الحرارة على قيم متانة الشد القصوى (Su) لنموذج Ep+P.P

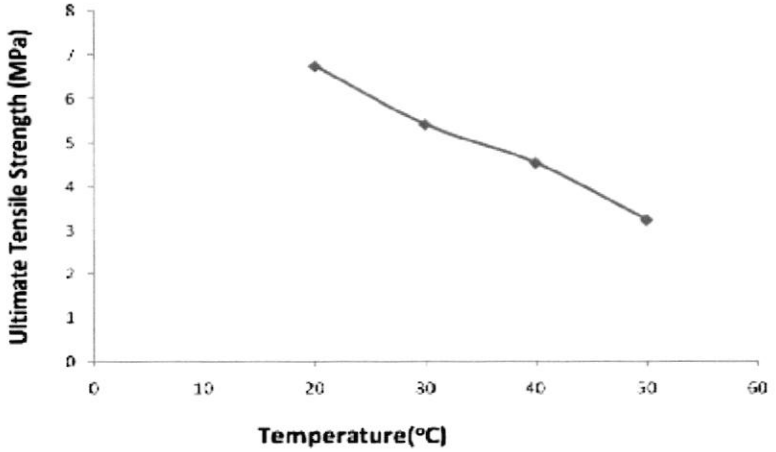


الشكل(5) يبين تاثير درجة الحرارة على قيم متانة الشد القصوى (Su) لنموذج Ep+G.F



الشكل(6) يبين تاثير درجة الحرارة على قيم متانة الشد القصوى (Su) لنموذج Ep+P.V.C+C.F

ISSN:1813 – 1662



الشكل(7) يبين تاثير درجة الحرارة على قيم متانة الشد القصوى (Su) لنموذج Ep+P.P+G.F

اختبار الأنضغاطية

يعد السلوك الانضغاطي للمواد المتراكبة من الخواص الميكانيكية المهمة التي اهتم بدراستها العديد من الباحثين ، اذ تعد مقاومة الانضغاط الواطئة للمواد المتراكبة المقواة بالالياف من المشاكل الاساسية في بعض الاحيان ، لقد تم وصف حالتين نظريتين للفشل الانضغاطي تمثلت بنمط الانبعاج (Buckling Mode) ونمط القص (Shear Mode) الذي ينمو عبر الطبقات الداخلية ضمن المادة المتراكبة مما يؤدي الى حصول الفشل بشكل متتابع نتيجة زيادة تشوه القص ، وقد اوضح الباحث نفسه ان احد اسباب حصول هذا النوع من الفشل يعود الى وجود بعض العيوب في المادة التي تشكل مناطق لتمركز الاجهادات حيث انه من غير الممكن ان تصنع مادة خالية من العيوب بصورة تامة [18] .

ان التاثير الايجابي للتهجين لمادة متراكبة متعددة الطبقات واقعة تحت تاثير التحميل يتضح بدقة عندما تشكل الالياف تركيبا متجانسا مع بعضها البعض وتعتمد في ذلك على عدة عوامل اهمها :الكسر الحجمي لكل من الالياف المستخدمة ،تركيب الالياف واتجاهها في المتراكب الهجيني ، وقابلية التصاقها بالمادة الاساس [19] .

والجدول (2) يبين تاثير اختلاف درجات الحرارة على قيم مقاومة الانضغاط لكافة المتراكبات .

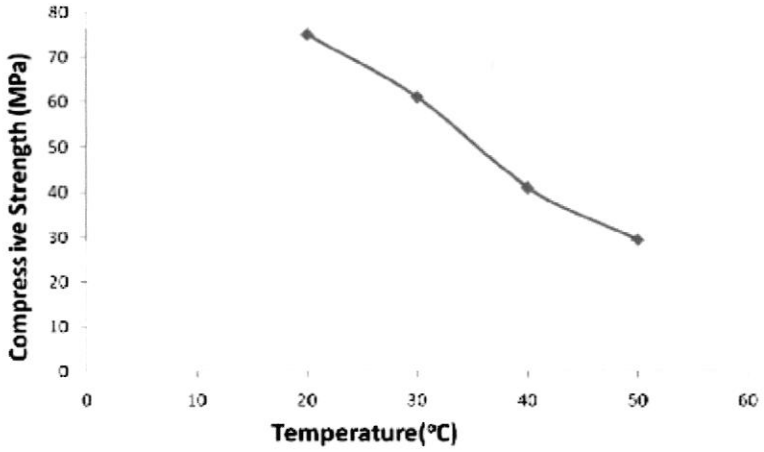
الجدول (2) تاثير اختلاف درجات الحرارة على قيم مقاومة الانضغاط

Type of Material	Compressive Strength (MPa)			
	20±2°C	30±2°C	40±2°C	50±2°C
Ep+P.V.C	75.00	60.93	41.25	29.67
Ep+C.F	39.32	31.65	26.44	22.16
Ep+K.F	49.40	28.00	25.21	23.10
Ep+P.P	37.85	30.24	25.16	22.22
Ep+G.F	88.34	75.07	61.48	58.65
Ep+P.V.C+C.F	35.73	29.76	24.87	21.11
Ep+P.P+G.F	32.01	27.34	23.65	20.22

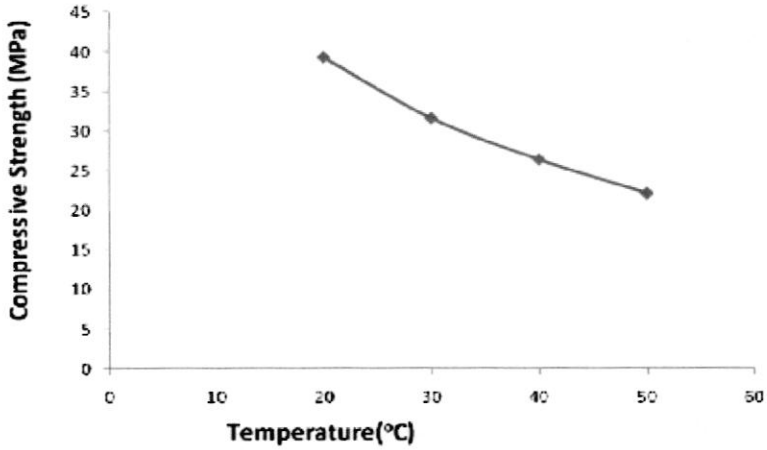
يلاحظ من القيم المثبتة بالجدول (2) أعلاه بأن المادة الراتنجية المدعمة بالياف الكفلر تبدي مقاومة ضعيفة تجاه الحمل الانضغاطي المحوري ويعود السبب في ذلك الى خواص الياف الكفلر غير المتناظرة ، في حين ان الياف الزجاج تتميز بامتلاكها خاصية التناظر لذا وجد ان المادة المتراكبة المحضرة منها تبدي مقاومة اعلى للحمل الانضغاطي [20] .

النتائج الجريبية أكدت على عملية الترصيف القوي للالياف لان الكسر يحدث اذا كان الانتشار الجانبي لايعيق اويمنع العيوب الطولية التي ربما تنشأ بالقرب من منطقة التحميل والتي تميل باتجاه مواز لالياف المادة المتراكبة واذا حدث الانبعاج بشكل مبكر فان هذا يعود الى الفجوات، اما في حالة الربط الضعيف بين المادة الاساس والليف فان الانحدار الطولي سوف يحدث عندما تكون قوة الشد الجانبية متزايدة بواسطة التمدد الانفعالي العالي لمتانة ربط الشد للسطح البيني [21] .

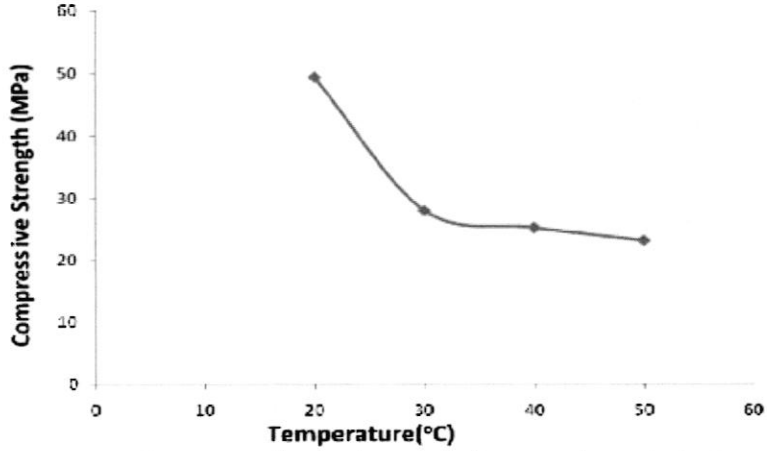
ان متانة أي مادة تتعلق بصورة اساسية بوجود العيوب التي تحتويها المادة ، اذا انه من الممكن السيطرة والتحكم بمتانة المواد المتراكبة عن طريق السيطرة على خصائص بداية نمو العيب ، اذا انه في حالة اجهاد لمواد المطيلية فان شقاً مايكرويا ﴿Micro﴾ يبدأ بالنمو ثم يتقدم بالنمو في وضع مستقر ، وان هذه الشقوق المايكروية تتحد مجتمعة لتكون شقاً مايكروياً (Macro) والذي عند مستويات اجهاد حرجة يصبح غير مستقر ، هذه الاستقرائية عند مستويات اجهاد عالية حول الشق تقود الى هيئة وشكل الكسر للفشل ، اما في حالة الشقوق المايكروية (Microcracks) والذي ينتج تدرجات اجهاد حادة يتاثر بشكل واتجاهية مادة التدعيم [22] .



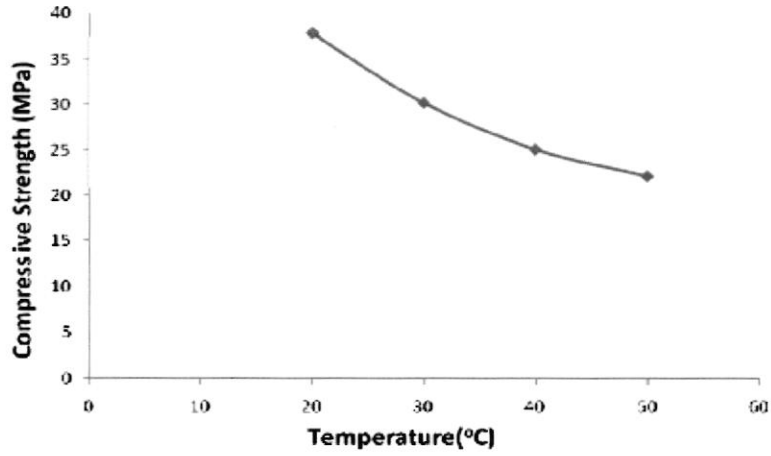
الشكل (8) يبين تاثير تغير درجة الحرارة على قيم مقاومة الانضغاط لنموذج Ep+P.V.C



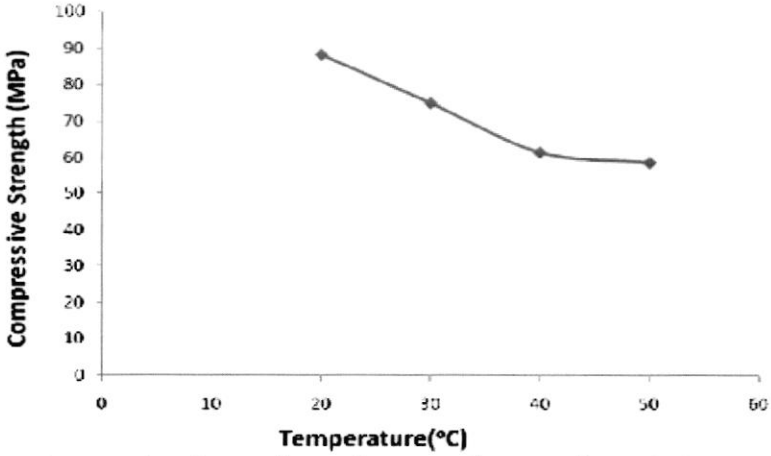
الشكل(9) يبين تاثير تغير درجة الحرارة على قيم مقاومة الانضغاط لنموذج Ep+ C.F



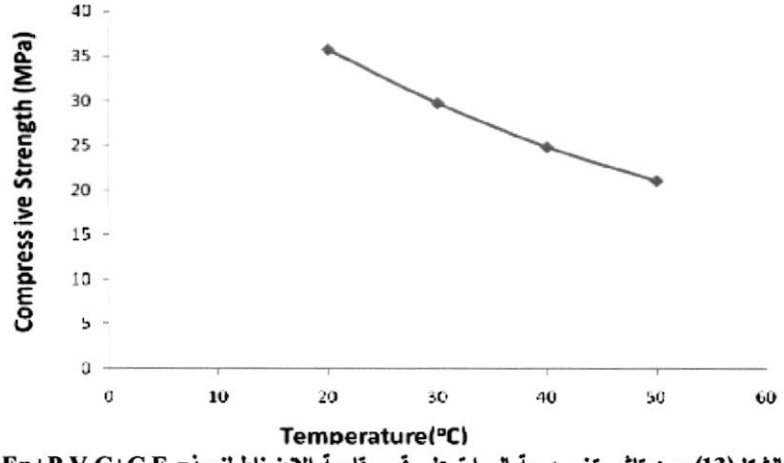
الشكل(10) يبين تاثير تغير درجة الحرارة على قيم مقاومة الانضغاط لنموذج Ep+K.F



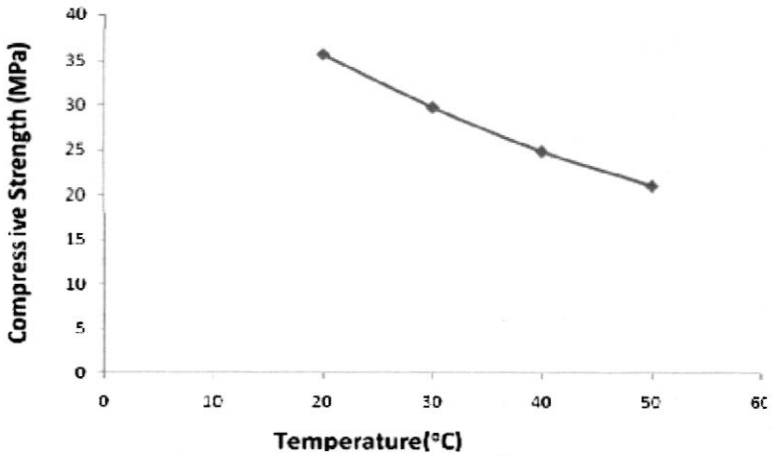
الشكل(11) يبين تاثير تغير درجة الحرارة على قيم مقاومة الانضغاط لنموذج Ep+P.P



الشكل(12) يبين تاثير تغير درجة الحرارة على قيم مقاومة الانضغاط لنموذج Ep+G.F



الشكل(13) يبين تاثير تغير درجة الحرارة على قيم مقاومة الانضغاط لنموذج Ep+P.V.C+C.F



الشكل(14) يبين تاثير تغير درجة الحرارة على قيم مقاومة الانضغاط لنموذج Ep+P.P+G.F

الاستنتاجات

1.المادة المتراكبة المكونة من الايبوكسي المدعم بالياف الكفلر أمتلكت اعلى مقاومة شد بينما أقل قيمة كانت لالياف البولي بروبيلين وان جميع المتراكبات أبدت أنخفاض في مقاومة الشد عند أرتفاع درجات الحرارة وبشكل متفاوت .

2. أعلى مقاومة أنضغاط كانت للمادة المتراكبة المكونة من الايبوكسي المدعم بالياف الزجاج بينما أقل قيمة كانت للمتراكب الهجين المكون من ألياف البولي بروبيلين مع ألياف الزجاج ، وان جميع المتراكبات أبدت انخفاض في مقاومة الأنضغاط عند أرتفاع درجات الحرارة وبشكل متفاوت.

المصادر

[1] G. Piatt," Advances in Composite Materials", Applied Science publishers LTD ,(1987).

[2] Schwartz M.M.," Composite Material Hand Book Mc Graw-Hill Co.,(1984) .

[3] Journal of Mechanical Engineering , July ,(1993).

[4] كوركيس عبد ال ادم ،حسين علي كاشف الغطاء ،"تكنولوجيا وكيمياء البوليمرات "(1983) .

[5] John W. Weeton, and Dean M. peters ,karyn L. Thomas ;"Engineerings Guide to Composite Materials "published by American Society for Metals ,(1987).

[6] Lawrance J. Broutman and Richard H. Krock ,"Composite Materials ",Vol.2,(1974) .

[7] M.A. Meyers and K.K. Chawla ,"Mechanical Behavior of Materials",prentice Hall ,(1999) .

[8] Hastuo Inshida, Ph.D., "Interface in polymer ,Ceramic and Metal Matrix Composites ", published by Elsevier Science Co.,Inc ., (1988) .

[9] م.ف.اشبي ود.ر.ه . جونس،ترجمة د.جعفر طاهر الحيدري " المواد الهندسية مدخل لخواصها وتطبيقاتها " ،الجامعة التكنولوجية ،(1990) .

[10] Derek Hull ,"An Introduction to Composite Materials ",Cambridge University press First published in (1981) .

[11] Carl Zweben ,"Journal of Materials Science", Vol.12, (1977) .

[12] B. Raymond Seymour ,"polymeric Composites ", Aldenpress Oxford ,(1990) .

[13] Chris Ann Slye and Robert Wesolowski "Tensile strength Test", Carnegie Mellon ,(2000) .

[14] B.R. Sanders and T.L. Weitraub,"Metal Hand Book Mechanical Testing ",Vol .8,9th Edition, American Society for Metals ,USA,(1985).

[15] د.عارف ابو صفية " الميتالورجيا الفيزياوية الهندسية " ، الجامعة التكنولوجية ،(1982) .

[16] Junghyun Ahn and Anthony .M. Waas "The Failure of Notched Composite Laminates Under Compression Using Integrated Macro-Micromechanics model" ,University of Michigan ,(2005) .

[17]Derek Hull ,"An Introduction to Composite Materials ", Cambridge University press First published in (1981) .

[18] S. Fisher ,G. Marom , F. R.Tuler ,"Journal of Material Science ",Vol.14,No.9,(1979) .

[19] S.V. Kulkarni ,J.S. Rice and B.W. Rosen, "Composite ",Vol.6,No.5(1975) .

[20] S.J.pande and D.K.Sharma,"Fracture Toughness of Short Glass Fiber and Glass particulate Hybrid Composite ",Vol.21, N0.4,(1984) .

[21] M.D.W. Richardson, "polymer Engineering Composites ", Applied Science pub. LTD, London , (1977) .

[22] J. Spomoudaki and R.J. Young, "Journal of Material Scince ",Vol.19, (1984) .

Study of the tensile and compression properties for fiber reinforced composite materials

Abdul-Majeed E.Al-Samar;ai[1], Adnan R.Al- Samar;ai[1] , Balqies M. Al Dabag[2]

[1]*Dp.of physics , college of education , University of Tikrit , Tikrit , Iraq*

[2]*University of technology , applied scince department , Baghdad , Iraq*

(Received: 4 / 2 / 2013 ---- Accepted: 22 / 4 / 2013)

Abstract

In this research composite materials have been prepared;with epoxy resins (Sliox Ep 400)as amatrix,while the reinforcements were (kevlar, glass, carbon, p.p,p.v.c) fibers .

Specimens were fabricated with volume fraction (V_f = 25%) for each fiber mentioned above .

Hybrid composites also were also prepared using (p.v.c+C.F) and (p.p+G.F) .

Mecanical properties were studied including (Tensile Strength, Compressive Strength).

For tensile test Kevlar fibers has ahigher value for impact strength (163.53 Mpa), while the less value was for polypropylene fibers (3.79 Mpa) .

For compression test Glass fibers has ahigher value for compressive strength (88.34 Mpa) ,while the less value was for hybrid composite contain polypropylene fibers and glass fibers (32.01 Mpa) .

In all mechanical properties show that the heat degrees affected on all specimens .