

حساب طاقة التصدع السطحية (F.S.E) لبوليمير البولي اثيلين المقوى بالألياف الكربون والزجاج

هناء جواد كاظم

فاضل عبد رسن

كلية هندسة المواد - جامعة بابل

كلية العلوم - جامعة بابل

الخلاصة

يهدف البحث الى اشتقاق معادلة طاقة التصدع (الكسر) السطحية وتقدير قيم طاقة التصدع السطحية لنموذج متراكب ليفي معزز بألياف الكربون وألياف الزجاج ومعرفة بعض التطبيقات العملية للمتراكب قيد البحث . كما يهدف الى إعداد برامج رياضية باستخدام لغة فورتران لتقدير القيم الحسابية قيد البحث .
حيث تم في هذا البحث حساب طاقة التصدع السطحية لبوليمير البولي اثيلين المدعم بألياف الزجاج و المدعم بألياف الكربون ، وذلك بتغيير الإجهاد المسلط بصورة عمودية على الألياف المنضدة بشكل متوازٍ في المدى الذي يتراوح بين (3-7GPa) ويتغير كل من قطر الألياف في المدى الذي يتراوح بين (7 – 17 μm) ومحتوى الألياف في المدى الذي يتراوح بين (1 – 4) ألياف ، أظهرت نتائج طاقة التصدع السطحية إنها تزداد بزيادة الإجهاد المسلط في المدى (3-7 GPa) ، كما أنها تزداد بزيادة قطر الألياف ومحتوى الألياف ولكلا النموذجين ، كما أثبتت النتائج إن طاقة التصدع السطحية الناتجة من تكسر الألياف في المتراكب المقوى بألياف الزجاج أكبر من طاقة التصدع السطحية الناتجة من تكسر الألياف في المتراكب المقوى بألياف الكربون . كما تم استخدام لغة الفورتران في إعداد البرامج الرياضية لتقدير القيم الحسابية .

Abstract:

In this studying , the fracture surface energy of unidirectional fiber – reinforced polymer is studied on two specimens , the first specimen contain polyethylene as a matrix and 4 glass fiber as a reinforce medium , and the second specimen contain polyethylene as a matrix and 4 carbon fiber as a reinforce medium , by changing the normal applied stress on the parallel fibers at range between (3 – 7 GPa) , when the fiber diameter , fiber contents and shear stress are constant , and changing the fiber diameter at range (7 – 17 μm) when other parameters are constant , in addition to changing the fiber contents at range between (1 – 4) fibers when other parameters are constant .

This results are presented the fracture surface energy is increase by increasing the fiber diameter , fiber contents , and applied stress , and decrease with increasing Young's modulus . As well as the Fortran language is used to design the programs to calculations theoretical data in this studying.

المقدمة Introduction

في عام 1984 قام Theodorel بدراسة التصدع السطحي لقشرة خشبية ، ووجد من ملاحظات الدراسة المجهرية لتصدع الفشل للقشرة الخشبية انه يظهر ثلاثة أنواع سائدة من انواع الفشل وهي ، التصدع السطحي الموازي للقشرة الخشبية ينتج من انفعال القص المستعرض . والنوع الثاني انفعال القص الدوراني والنوع الثالث انفعال الشد [Theodorel1984] . وفي عام 1984 قام Nahas بعرض الطرق التحليلية للسلوك غير الخطي لصفحة مواد مركبة مقواة بالألياف الناتجة من الاستجابة غير الخطية non linear response للصفحة. حيث استخدم في وصف الطرق التحليلية معاملات القاطع secant modulus وتقنيات التكرار iteration techniques [Nahas1984] . وقام كل من Evans و Zhang في عام 1988 بوصف الطريقة العددية Numercal Method للتنبأ بالخواص الميكانيكية للمواد المتراكبة ، حيث ان طريقة المحددات النهائية تستخدم لحساب طاقات الانفعال [Zhang& Evans 1988] . وفي عام 1989 درس كل من Paul و Rao تقدير الاجهادات والمنتج الجمعي للاجهاد الحاصل في فجوة دائرية لصفحة متراكبة معززة بالألياف بفعل الحمل المسلط بالاتجاه المستعرض وشرح اختلاف المنتج الجمعي للاجهاد مع سمك الصفحة ، وحجم الفجوة ، وطبيعة توزيع الحمل [Rao& Paul 1989] . وفي عام 2000 قام Abid Al –Raheem

بدراسة تحليل الاجهادات لاسطوانة مركبة صفيحية مقواة بالألياف والمعرضة إلى أحمال ميكانيكية وحرارية وثرمودميكانيكية مختلفة بالاعتماد على النموذج الرياضي المشتق - المرن المتناظر والمعتمد على نظرية المرونة للمواد غير المتساوية الخواص في جميع الاتجاهات وبثلاثة أبعاد . واستخدمت طريقة العناصر المحددة كطريقة عددية وتم اعتماد العنصر المثلث كأساس للتحليل وبدرجتين للحرية لكل عقدة لحساب الإزاحة . فضلاً عن ذلك تم دراسة فشل أول طبقة من طبقات الاسطوانة المركبة الصفيحية المقواة وغيرها من المتغيرات وتم اعتماد البرنامج الرياضي الذي تم اعداده وتصميمه في هذه الدراسة (FELASAP) [Abid Al –Raheem 2000] . وفي عام 2002 قامت Haneen بدراسة تحليل الآلية الدقيقة لمواد مقواة بالألياف موحدة الاتجاه لمادة متراكبة مكونة من ليف ذو مقطع مستطيل وبسمك مساوي الى سمك المادة الاساس ، وافترض ترابط مثالي بين الليف والمادة الأساس وتم استخدام نظرية طاقة الانفعال في المرونة المستوية وتم اشتقاق المعادلات الخاصة بهذه المادة والتي تمثل العلاقة بين الاجهاد والانفعال واستخدمت طريقة العناصر المحددة كطريقة عددية وتم اعتماد العنصر المثلث كأساس للتحليل بثلاث درجات للحرية لكل عقدة لحساب الإزاحة واستخدمت لغة بيسك السريعة لاعداد البرنامج (SAOUDL) الذي يشمل كل الاساليب المعتمدة وقد وجد في هذه الدراسة بان طريقة البنية الدقيقة التي تم اعتمادها في هذا العمل بانها قادرة على حساب اجهاد القص المتولد بين الليف والمادة الاساس [Haneen2002] . وقام كل من Rami و Rani في عام 2002 بدراسة فحص التصدع والتحليل المجهرى للمواد المجهدة ، وقد وجدوا بان النموذج المجهرى غير الخطي وبثلاثة ابعاد للمواد المركبة المجهدة يستخدم لتحليل التصدع الموازي لاتجاه الدوران في المصفوفة البوليميرية للمراكبات المجهدة ، وان النموذج المجهرى قادر على تقدير السلوك غير الخطي في متراكبات المواد المجهدة تحت تاثير الاجهاد (الحمل) الدائر حول التصدع في حالة المحاور المتعددة العامة [Rami& Rani 2002] . وفي عام 2005 قام كل من Wataru و Kuji و Kotoji بدراسة دقائق كاربيد السليكون (Sic) ، وشعيرات كاربيد السليكون (Sic) في متراكبات متعددة وقد وجدوا بان اضافة خليط (Sic) ضروري لتحسين متانة التصدع وان متانة التصدع لا تقل باضافة دقائق (Sic) [Wataru& Kuji& Kotoji 2006] . اما الدراسة الحالية فانها تهدف الى اشتقاق معادلة طاقة التصدع (الكسر) السطحية وتقدير قيم طاقة التصدع السطحية لنموذج متراكب ليفي معزز بألياف الكاربون وألياف الزجاج ومعرفة بعض التطبيقات العملية للمترابك قيد البحث . كما يهدف الى إعداد برامج رياضية باستخدام لغة فورتران لتقدير القيم الحسابية قيد البحث .

الاسس النظرية : Theoretical Accepts :

يقصد بطاقة التصدع السطحية انها عبارة عن مجموع الشغل المنجز من قبل الليف على المصفوفة على

طول dx من الليف وتعطى بالعلاقة التالية [Piggott 1970] :-

$$\gamma = U_m + U_f \quad (1) \dots$$

حيث أن :- U_m : هي الشغل المنجز من الليف على المصفوفة والحاصل من اتساع الشق crack بسبب الاجهاد المسلط الذي يؤدي الى انتقال القوة من الليف الى المصفوفة على طول dx من الليف ، وفي هذه الحالة تم افتراض الشق عمودي على الاليف .

U_f : هي الشغل المنجز من الليف على المصفوفة بسبب استمرار تسليط الاجهاد الذي يؤدي الى حدوث تكسر الليف أي بمعنى آخر ان U_f تمثل الشغل المنجز بواسطة الليف عند حدوث تكسره .

نفرض إن الإزاحة u والشغل المنجز U_m ، فإن القوة المنتقلة من الليف إلى المصفوفة على طول dx هي $\pi D \tau_y u dx$ ، إذن الشغل المنجز بواسطة الليف على المصفوفة هو :

$$U_m = \pi D \int_0^{x_0} \tau_y u dx \quad \dots(2)$$

τ_y إجهاد القص shear stress

حيث أن D قطر الليف fiber diameter

وبإهمال تحول الإجهاد المرن ، فإن x_0 هي طول الليف إلى النقطة التي يحصل عندها هبوط قيمة إجهاد الليف إلى معدل القيمة . ان الشغل المنجز وإجهاد الليف سيزداد مع زيادة الحمل المسلط و يحصل الليف على ربح في الطاقة المرنة . وعندما ينكسر الليف فانه سوف يستعاض عن تلك الطاقة (الطاقة المرنة) بواسطة الشغل المنجز من الليف على المصفوفة والحاصل من استمرار تسليط الإجهاد الذي يؤدي إلى حصول كسر الليف. ويعرف الشغل المنجز بواسطة الليف بعد حصول انكساره بالعلاقة التالية

$$U_f = \frac{1}{2} \int_0^{x_0} F \epsilon_f dx \quad \dots (3)$$

حيث أن F هي القوة المتحوّلة على طول الليف بعد انكساره ، ϵ_f هي انفعال الليف

كل ليف يقطع بواسطة الشق سيساهم بكمية من الطاقة مقدارها $U_m + U_f$ لغرض حصول التصدع وهذه هي طاقة التصدع السطحية fracture surface energy .

ولغرض إيجاد العلاقة بين طاقة التصدع السطحية وقطر الليف (D) وإجهاد الشد σ_u ومعامل يونج للليف E_f ؛ ان الإجهاد المتحول من الليف إلى المصفوفة سوف ينتج عنه نقصان قوة الليف مع المسافة من الشق أي أن :-

$$\frac{dF}{dx} = -\pi D \tau_y \quad \dots(4)$$

حيث أن dF هي قوة الليف . فإذا قيد الليف بواسطة نقصان قطره فإن انفعال الليف سوف يعطى بالعلاقة التالية [Copper & Kelly 1967] :-

$$\epsilon_f = \frac{4F(1+\nu_f)(1-2\nu_f)}{\pi D^2 E_f (1-\nu_f)} = \frac{4F}{\pi D^2 E_{fr}} \quad \dots(5)$$

حيث إن :-

$$\frac{(1-\nu_f)E_f}{(1+\nu_f)(1-2\nu_f)} = E_{fr}$$

كذلك :-

$$\frac{d\epsilon_f}{dx} = \frac{-4\tau_y}{DE_{fr}} \quad (6) \quad \dots (6)$$

وبتكامل المعادلة (6) عند شرط الحد boundary condition [$\epsilon_f = \sigma_u / E_{fr}$] ، عندما $x = x_0$ فإن الإجهاد المنتقل على مسافة مقدارها x_0 تعطى بالعلاقة التالية :-

$$x_0 = \frac{D\sigma_u}{4\tau_y} \quad \dots(7)$$

$$\varepsilon_f = \frac{4\tau_y}{DE_{fr}}(x_o - x) \quad \dots(8)$$

وبافتراض أن τ_y ثابت لذلك :

$$u = \int_{x_o}^x \varepsilon_f d. \quad \dots (9)$$

وللحصول على قيمة كل من U_f و U_m يتم تعويض قيم كل من x_o و ε_f و u من المعادلات (7) و (8) و (9) في المعادلات (2) و (3) ويتكامل المعادلات الناتجة نحصل على :-

$$U_m = U_f = \frac{\pi D^3 \sigma_u^3}{96\tau_y E_{fr}} \quad \dots (10)$$

وكذلك عندما يشترك عدد n من الألياف لوحدة المساحة فان طاقة التصدع السطحية تعطى بالعلاقة التالية :-

$$\gamma_f = n(U_m + U_f) = \frac{n\pi D^3 \sigma_u^3}{48\tau_y E_{fr}} = \frac{PD\sigma_u^3}{12\tau_y E_{fi}} \quad \dots (11)$$

$$P = \frac{n\pi D^2}{4} \quad \dots (12)$$

حيث أن المعادلة رقم (12) هي محتوى الألياف في المترابك .
المعادلة (11) يمكن تطبيقها لحساب طاقة التصدع السطحية للمترابكات فقط في حالة أن يكون تحول الإجهاد المرن بالقرب من الشقوق إلى جسر الألياف صغير مقارنة بالإجهاد المنتقل بواسطة الانسياب اللدن عند الوجه الداخلي بين المصفوفة والألياف. وكذلك يجب ان يكون الاجهاد عموديا" على الاليف .

الجانب العملي : Experimental Part

يتضمن هذا الجزء اعداد النماذج واعداد البرنامج :

a - تصميم النموذج

تم تصميم النماذج بواسطة إعداد المصفوفة التي تتألف من رقاقة لانهائية من مادة البولي اثيلين ، مستطيلة الشكل ثم تمت تقويته بأربعة ألياف كاربون منضدة بشكل متوازٍ ، أما النموذج الثاني فتم إعداده بأبعاد مساوية للنموذج الأول وتمت تقويته بأربعة ألياف من الزجاج وبمواصفات مساوية لمواصفات النموذج الأول .

b - اعداد البرنامج

برنامج حساب طاقة التصدع السطحية بتغيير قيمة الإجهاد المسلط ($\sigma_u=Y$) وثبوت قطر الليف ($D=X$) ومعامل يونك ($E_f=E$) وإجهاد القص ($\tau_y=Z$) ومحتوى الألياف (4 ألياف) :

```
10 START,
20 PIE=3.14, Z=3*10-3, X=16, E=70, OR X=7, E=250,
30 READ Y,
40 COMPUTE A=(PIE*X**3*Y**3)/(12*Z*E)
50 PRINT Y, A,
60 GO TO 20
70 STOP
80 END
90 DATA
```

النتائج والمناقشة Results and Discussion

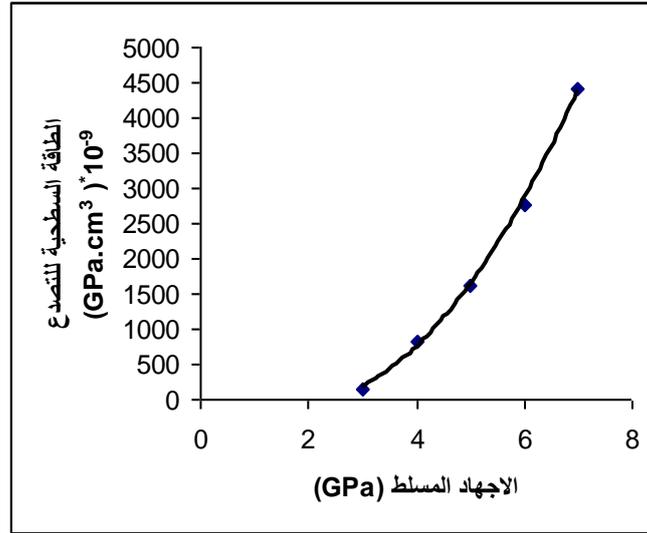
لقد تم دراسة تأثير زيادة الإجهاد المسلط على طاقة التصدع السطحية لمتراكب البولي اثيلين المقوى بألياف الكربون ومتراكب البولي اثيلين المقوى بألياف الزجاج، وقد تم ملاحظة زيادة قيمة طاقة التصدع السطحية بزيادة الإجهاد المسلط في المدى الذي يتراوح بين (3- 7GPa) بثبوت محتوى الألياف (n=4) وقطر الليف النموذجي لكل نوع من الألياف وثبوت معامل يونك لكل نوع من الألياف من خلال جدول الثوابت وتم تثبيت قيمة إجهاد القص حيث تساوي ($3 * 10^{-3}$ GPa) ولكلا النموذجين والسبب في ذلك يعود إلى أن زيادة قيمة الإجهاد المسلط تؤدي إلى تكسر أو تقطع عدد أكثر من الألياف ، حيث أن كل ليف يقطع سوف يساهم بكمية من الطاقة مقدارها ($U_m + U_f$) [Piggott 1970] ولكلا النموذجين ، وقد أثبتت النتائج المبينة في الأشكال رقم (1) و (2) ان التقوية بألياف الزجاج أفضل من التقوية بألياف الكربون حيث أن ألياف الزجاج عندما تنقطع أو تتكسر فإنها تعطي طاقة تصدع سطحية أكبر من قيمة طاقة التصدع السطحية التي تعطيها ألياف الكربون عندما تنقطع ، وذلك بسبب إن ألياف الزجاج تمتلك معامل يونك أقل من ألياف الكربون [Valery & Evgeny 2001] ، لذلك فإن ألياف الزجاج تمتلك مرونة أقل من ألياف الكربون حيث ان الشقوق لا تستطيع الانتشار خلالها ، حيث نلاحظ انه بزيادة معامل يونك للألياف يؤدي إلى تقليل الطاقة السطحية للتصدع التي يساهم بها كل ليف وحسب المعادلة رقم (11) التي تم من خلالها حساب قيمة طاقة التصدع السطحية ولكلا النموذجين . وهذا مفيد في التطبيقات التي تحتاج الى حدوث مثل هذه العملية كالحالة الحاصلة في فواصل الطاقة الكهربائية لحماية الاجهزة الكهربائية من العطل او التلف . وفي هذه الحالة يفضل استخدام ألياف الزجاج في عملية التقوية بدلا" من ألياف الكربون . والشكل رقم (1) يوضح العلاقة بين طاقة التصدع السطحية والإجهاد المسلط للمتراكب المقوى بألياف الزجاج . ولقد أثبتت نتائج تغيير قطر الألياف على طاقة التصدع السطحية والموضحة بالأشكال (3) و (4) إن زيادة قطر الألياف يؤدي إلى زيادة طاقة التصدع السطحية ، حيث تم تغيير قيمة قطر الألياف في المدى الذي يتراوح بين ($7 - 17$) μm ولكلا النموذجين المقوى بألياف الكربون والمقوى بألياف الزجاج وبثبوت الإجهاد المسلط (5.5 GPa) ومعامل يونك لكل نوع من الألياف وإجهاد القص ($3 * 10^{-3}$ GPa) ومحتوى الألياف (n=4) ، حيث إن زيادة قطر الألياف تؤدي إلى زيادة قيمة محتوى الألياف وحسب المعادلة رقم (12) التي تم فيها حساب قيمة محتوى الألياف وكذلك فإن زيادة قطر الألياف تؤدي إلى زيادة طاقة التصدع السطحية وحسب المعادلة التي تم منها حساب طاقة التصدع السطحية معادلة رقم (11) حيث أن العلاقة طردية بين قطر الألياف طاقة التصدع السطحية ، وقد أثبتت النتائج أن التقوية بألياف الزجاج أفضل من التقوية بألياف الكربون لان ألياف الزجاج تمتلك معامل يونك أقل من ألياف الكربون وحسب جدول الثوابت ، في الحالة التي يكون المرغوب فيها الحصول على كسر سريع . كما انه يجب عند التقوية ملاحظة أن تكون زيادة قطر الألياف ضمن مدى محدد بحيث لا تؤثر على النسبة الظاهرية (Aspect Ratio) والتي تمثل نسبة طول الليف إلى قطره والتي يفضل أن تكون عالية في التطبيقات العملية لان الليف الطويل يتحمل الإجهاد أكثر من الليف القصير ، حيث يفضل استخدام الألياف الطويلة بدلا" من الألياف القصيرة لان الإجهاد يتوزع على أطراف الألياف بصورة أقل من بقية الأجزاء ، ويمكن تحقيق ذلك بتقليل قطر الليف (أي الحصول على مساحة سطحية صغيرة) ، وبذلك فان الاستعاضة عن تقليل قطر الليف للحصول على طاقة تصدع سطحية عالية تتم بزيادة محتوى الألياف والتي بدورها تؤدي إلى زيادة طاقة التصدع السطحية

وحسب علاقة رقم (11) حيث أن زيادة قيمة الإجهاد المسلط على المتراكب الناتج من عملية التقوية تؤدي إلى زيادة الاستطالة وهذا يؤدي إلى زيادة المساحة السطحية للمتراكب (الليف والمصفوفة) للحفاظ على حجم ثابت للمتراكب مما يقلل كثافة المتراكب ووزنه و الحصول على نسبة عالية من (المتانة / الوزن) وهذا يفضل في التطبيقات العملية [Haneen 2002] كما في صناعة المركبات الفضائية التي تتطلب متراكب ذو نسبة (متانة / وزن) كبيرة ، حيث في الحالة التي يكون المرغوب فيها الحصول على متراكب ذو نسبة (متانة / وزن) عالية يفضل استخدام ألياف الكربون بدلاً من ألياف الزجاج لأن الطاقة السطحية الناتجة من تكسر ألياف الكربون أوطاً من طاقة التصدع السطحية الناتجة من تكسر ألياف الزجاج ، وهذا يقلل من احتمالية حدوث كسر سريع. ولقد أثبتت النتائج إن زيادة محتوى الألياف يؤدي إلى زيادة طاقة التصدع السطحية ، حيث تم تغيير قيمة عدد الألياف في المدى الذي يتراوح بين (4-1) ولكلا النموذجين المقوى بألياف الكربون والمقوى بألياف الزجاج وبثبوت الإجهاد المسلط (5.5 GPa) ومعامل يونك لكل نوع من الألياف، وإجهاد القص (3×10^{-3}) GPa ، حيث أن زيادة محتوى الألياف تؤدي إلى زيادة قيمة الطاقة السطحية للألياف ولنفس السبب السابق وهذا يتفق مع الدراسات التي أجريت من قبل (Cooper & Kelly) على نموذج فحص متراكب من النحاس المقوى بألياف السيليكا وآخر مقوى بألياف التتكتستن والدراسات التي أجريت من قبل (Piggott) على نموذج افتراضي من رقاقة لانهائية تحتوي الياف منضدة بشكل متوازٍ . والشكل رقم (5) يوضح العلاقة بين زيادة محتوى الألياف في المدى الذي يتراوح بين ($n=1$ إلى $n=4$) و طاقة التصدع السطحية للمتراكب المقوى بألياف الزجاج بثبوت قيمة الإجهاد المسلط وإجهاد القص ومعامل يونك وقطر الليف ، حيث يوضح الشكل انه بزيادة محتوى الياف الزجاج تزداد طاقة التصدع السطحية. والشكل رقم (6) يوضح العلاقة بين تغير محتوى الألياف و طاقة التصدع السطحية للمتراكب المقوى بألياف الكربون بثبوت الإجهاد المسلط وإجهاد القص ومعامل يونك وقطر الليف النموذجي . حيث يوضح الشكل انه بزيادة محتوى الياف الكربون تزداد طاقة التصدع السطحية. واخيراً وليس آخراً" فقد حاولنا هذه البحث معرفة مدى تأثير كل من قطر الألياف ومحتوى الألياف والإجهاد المسلط على طاقة التصدع السطحية لمتراكب معزز بنوعين من الألياف وتم التوصل إلى النتائج التالية :

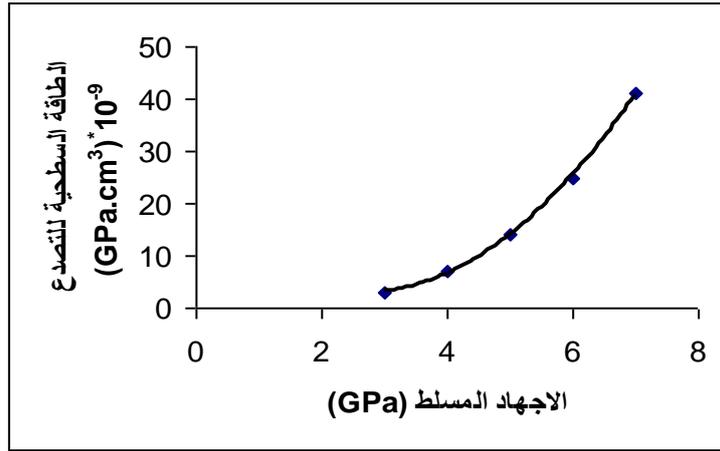
1- إن زيادة قيمة الإجهاد المسلط تؤدي إلى زيادة طاقة التصدع السطحية لحين حصول التصدع عند الانفتاح التام للشق ، كما إن زيادة كل من قطر الألياف ومحتوى الألياف تؤدي إلى زيادة طاقة التصدع السطحية ، لكن يجب المحافظة على قيمة القطر ضمن الحدود المناسبة بحيث لا تؤثر على النسبة الظاهرية للمتراكب (نسبة طول الليف / قطره) والتي يفضل أن تكون كبيرة في التطبيقات العملية لذلك يتم الاستعاضة عن زيادة قطر الألياف بزيادة محتوى الألياف لزيادة طاقة التصدع السطحية. حيث بزيادة الاجهاد المسلط على المتراكب المقوى باللياف الزجاج من (3 GPa) الى (7 GPa) تزداد طاقة التصدع السطحية من (137×10^{-9} GPa.cm³) الى (4413×10^{-9} GPa.cm³) ، اما المتراكب المقوى باللياف الكربون فانه بزيادة الاجهاد المسلط من (3 GPa) الى (7 GPa) تزداد طاقة التصدع السطحية من (3×10^{-9} GPa.cm³) الى (41×10^{-9} GPa.cm³) حيث تمت القياسات بثبوت معامل يونك لكل من الياف الكربون واللياف الزجاج حسب جدول الثوابت ، وثبوت عدد الياف التقوية اربعة الياف لكل نموذج وثبوت اجهاد القص لكلا النموذجين .

2- ان التقوية باللياف الزجاج تؤدي الى الحصول على زيادة في الطاقة السطحية المتحررة عندما يحدث تقطع الاليف عند حصول التصدع ، وهذا يؤدي الى الحصول على زيادة في الطاقة المتحررة من النظام (المتراكب) وهذا يؤدي الى حدوث كسر سريع في المتراكب وهذا مفيد في التطبيقات التي تحتاج الى حدوث مثل هذه العملية كالحالة الحاصلة في فواصل الطاقة الكهربائية لحماية الاجهزة الكهربائية من العطل او التلف . وفي هذه الحالة يفضل استخدام اليف الزجاج في عملية التقوية بدلا" من اليف الكاربون .

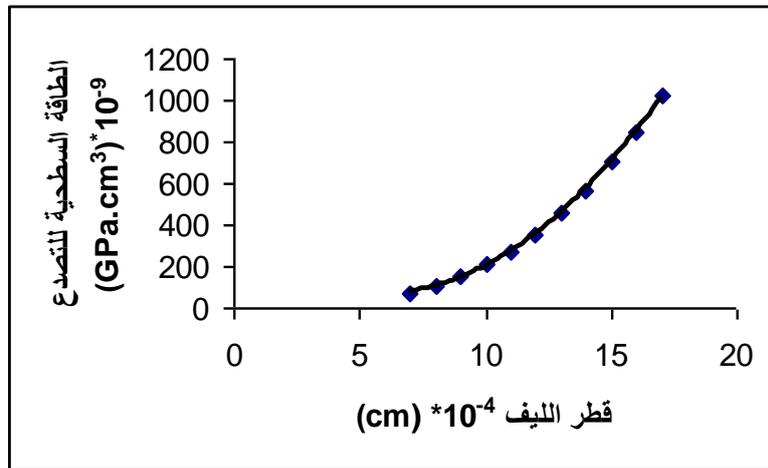
3- ان زيادة محتوى الاليف تؤدي الى زيادة طاقة التصدع السطحية ، وللتقليل من حصول الفشل (حدوث الكسر السريع) أي تقليل طاقة التصدع السطحية يفضل استخدام اليف المواد التي تمتلك معامل يونك عالٍ حيث انه بزيادة معامل يونك يتم التقليل من الطاقة السطحية المتحررة عند تقطع الاليف ، وفي هذه الحالة يفضل استخدام اليف الكاربون في عملية التقوية بدلا" من اليف الزجاج .



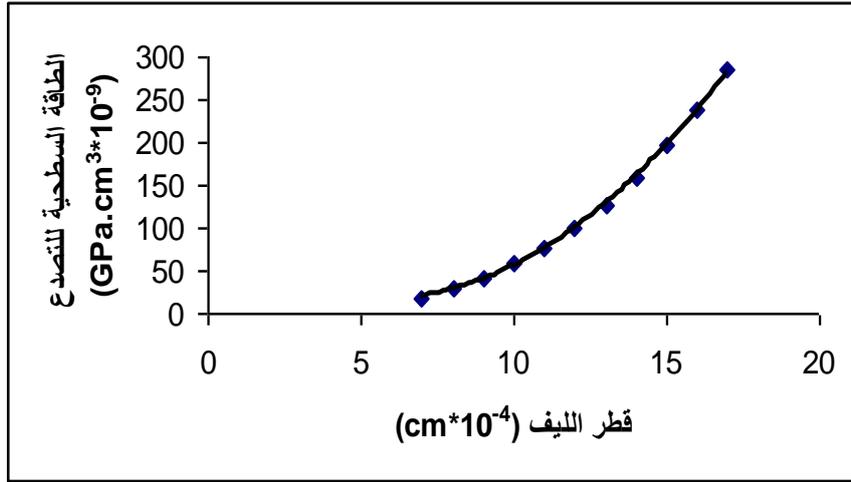
شكل رقم (1) العلاقة بين طاقة التصدع السطحية والإجهاد المسلط لمتراكب البولي اثيلين المسلح باللياف الزجاج بثبوت عدد ألياف التقوية (4) ألياف زجاج وثبوت قطر الألياف (16 μm) وثبوت معامل يونك (70 GPa) وإجهاد القص (3*10⁻³ GPa)



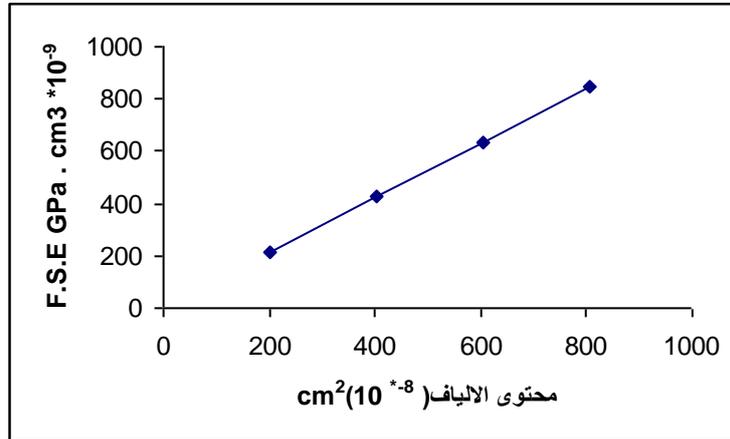
شكل رقم (2) العلاقة بين طاقة التصدع السطحية والإجهاد المسلط لمتراكب البولي اثيلين المسلح بالألياف الكاربون بثبوت عدد ألياف التقوية (4) ألياف كاربون وثبوت قطر الألياف (7 μm) وثبوت معامل يونك (250 GPa) وإجهاد القص (3×10^{-3} GPa)



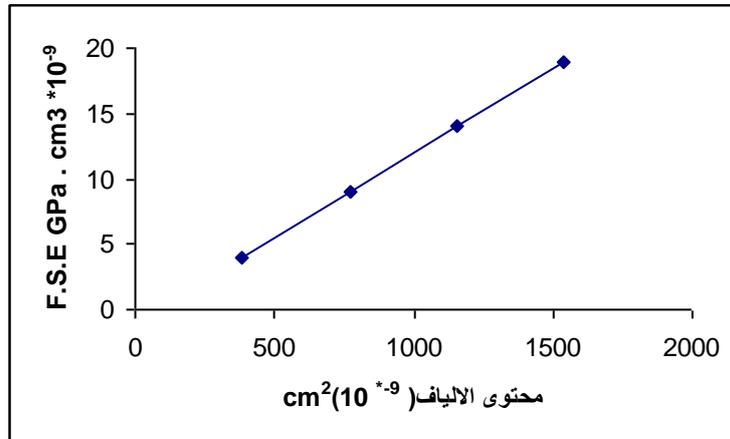
الشكل رقم (3) يوضح العلاقة بين زيادة قطر الألياف في المدى الذي يتراوح بين (7 – 17 μm) و طاقة التصدع السطحية لمتراكب البولي اثيلين المقوى بألياف الزجاج بثبوت قيمة الإجهاد المسلط وإجهاد القص ومعامل يونك ومحتوى الاليف .



الشكل رقم (4) يوضح العلاقة بين تغيير قطر الألياف و طاقة التصدع السطحية لمتراكب البولي اثيلين المقوى بألياف الكاربون بثبوت الإجهاد المسلط وإجهاد القص ومعامل يونك ومحتوى الألياف.



الشكل رقم (5) يوضح العلاقة بين زيادة محتوى الألياف في المدى الذي يتراوح بين (n=1) الى (n=4) وطاقة التصدع السطحية لمتراكب البولي اثيلين المقوى بألياف الزجاج بثبوت قيمة الإجهاد المسلط (5.5 GPa)



شكل رقم (6) يوضح العلاقة بين محتوى الألياف و طاقة التصدع السطحية لمتراكب البولي اثيلين المقوى بألياف الكاربون بثبوت قطر ليف الكاربون (7 * 10⁻⁴) cm وإجهاد القص (3*10⁻³GPa) وإجهاد الشد (5.5 GPa)

المصادر : References

- اشبي " المواد الهندسية مدخل لخواصها وتطبيقاتها " (1985)
- هناء جواد الشمري(2007) " حسابات طاقة التصدع السطحية لبوليمير البولي اثيلين المدعم باللياف الزجاج والكاربون " ، رسالة ماجستير ، قسم علوم الفيزياء ، كلية العلوم ، جامعة بابل .
- Abid AL-Raheem(2000). "Stress Analysis of Laminate Fiber Reinforced Composite Cylinder" M.s.c. Material Engineering.
- Cooper and Kelly (1967) " Tensile Properties of Fiber Reinforced Metals: Fracture Mechanics ". Department of Metallurgy, University of Cambridge.
- Haneen. (2002) "Micromechanics Analysis of Unidirectional Fiber Reinforced Material ". M.Sc. Thesis College of Engineering , Material Engineering .Babylon University,
- Lows .(1982)"Micromechanical Aspects of the Fiber- Coment Bound", Composites, April, Butter worth & Co (publishers)1td
- Nahas (1984) "Analysis of Non-Linear Stress – Strain Respones of Laminated Fiber Reinforced Composites Fiber sci. Techp.
- Piggott. (1970) "Theoretical Estimation of Fracture Toughness of Fiber Composite". Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry of Toronto, Canada.
- Row & Paul (1999) "Stress Analysis Around Circular Holes in FRP Laminates Under Transverse Load " Comp. & Struct., (1989) 4 – Shuguang "On the Unit Cell for Micromechanical Analysis of Fiber – Reinforced Composites " ,
- Rani & Rami (2002) " Fracture Testing and Micromechanical Analysis of Pultruded Composites" 15th ASCE Engineering Mechanics Confernce Joun (2-5) Columbia University , New York
- Theodore, December (1984) "Flakeborard Fracture Surface Observation and Correlation with Orthotropic Failure Criteria", Journal of the Institute of Wood Science
- Valery & Evgeny (2001)"Mechanics and Analysis of Composite Materials" Amsterdam. London
- Wataru & Koji & Kotoji (2005) "Particale/Sic Whisker Multi–Composite " Dep. of Energy & Safty Engineering Yokohama Nationa University
- Zhang & Evens (1988) "Numercal Predection of the Mechanical Properties of Anistropic Composite Materials". Comp. and Struct.