



حسابات طاقة التصدع السطحية لبولمير البولي اثيلين المدعم باللياف الزجاج والكاربون

رسالة تقدمت بها

هناك جواد الشمري

الى قسم الفيزياء في كلية العلوم جامعة بابل وهي جزء
من متطلبات نيل درجة الماجستير علوم في الفيزياء

اشراف

الدكتور فاضل عبد رسن عمارة

حزيران-٢٠٠٧

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ
وِیَسْئَلُونَكَ عَنِ الرُّوحِ قُلِ الرُّوحُ مِنْ
أَمْرِ رَبِّیْ وَمَا أُوتِیْتُمْ
مِنَ الْعِلْمِ إِلَّا قَلِیْلًا

صدق الله العظيم
سورة الإسراء

إقرار المشرفین علی الرسالة

نشهد بان إعداد هذه الرسالة قد جرى تحت إشرافنا في قسم الفيزياء كلية العلوم – جامعة بابل كجزء من متطلبات نيل درجة الماجستير علوم في الفيزياء .

المشرف

التوقيع

الاسم : د. فاضل عبد رسن عمارة

المرتبة العلمية : مدرس

التاريخ : / /

توصية رئيس قسم الفيزياء
استناداً إلى التوصيات المتوفرة أشرح هذه الرسالة للمناقشة

التوقيع

الاسم : د. طالب هادي قدوري

المرتبة العلمية : أستاذ مساعد

التاريخ : / /

قرار لجنة المناقشة

نشهد بأننا أعضاء لجنة المناقشة اطلعنا على هذه الرسالة وقد ناقشنا الطالبة هناء جواد كاظم في محتوياتها ، وفيما له علاقة بها وذلك بتاريخ ٢٦ / ٨ / ٢٠٠٧ ووجدنا بانها جديرة بالقبول بدرجة (جيد جداً) لنيل درجة ماجستير في علوم الفيزياء .

رئيس لجنة المناقشة

التوقيع

الاسم: أ. علي خلف حسن

المرتبة العلمية : أستاذ

العنوان : كلية التربية - بنات - جامعة الكوفة

عضو لجنة المناقشة

التوقيع

الاسم: د. غالب عبد الوهاب الدهش

المرتبة العلمية : أستاذ مساعد

العنوان : كلية العلوم - بنات - جامعة بابل

عضو لجنة المناقشة

التوقيع

الاسم: د. عبد العزيز عبيد موسى

المرتبة العلمية : أستاذ مساعد

العنوان : كلية العلوم - جامعة بابل

عضو لجنة المناقشة (المشرف)

التوقيع

الاسم: د. فاضل عبد رسن عمارة

المرتبة العلمية : مدرس

العنوان : كلية العلوم - جامعة بابل

مصادقة عمادة كلية العلوم

أصادق على ما جاء في قرار اللجنة أعلاه .

التوقيع

الاسم: د. عودة مزعل ياسر

المرتبة العلمية : استاذ

العنوان : كلية العلوم – جامعة بابل

الإهداء ...

أقدم الثناء والحمد والحب والعبادة الخالصة لوجه
الكريم الذي هداني وعلمني ورزقني ويسر لي أمري،
واصلّ واسلم على رسوله الكريم خاتم الأنبياء
والمرسلين " محمد صلى الله عليه واله وسلم "
رحماتي ودعواتي للوالد أودعته عند رب كريم
إلى والدتي ... حبي واعتزازي
إلى إخواني و أخواتي ... كل حبي وتقديري
إلى الأخت العزيزة السيدة إقبال محمد سعيد ... حبي
واعترازي
إلى جميع صديقاتي... كل ودي وتقديري

هناء

الشكر والتقدير..

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على الرسول الكريم
وعلى اله وصحبه أجمعين.

أتوجه بالشكر الجزيل إلى عمادة كلية العلوم ورئاسة قسم
علوم الفيزياء جامعة بابل لإتاحتهم الفرصة لي في اكمال
دراستي.

كما أتوجه بفائق الشكر والامتنان إلى المشرف على الرسالة
الدكتور

" فاضل عبد رسن " فقد كان خير عون لي وموجه طيلة
فترة البحث.

ولا يسعني إلا أن أتقدم بشكري الجزيل إلى عمادة كلية
الهندسة وقسم هندسة المواد أساتذة ومنتسبين لما أبدوه من
معونة لي طيلة فترة البحث.

وأخص بشكري الجزيل السيدة إقبال محمد سعيد / كلية
الهندسة / قسم المواد لما أبدته لي من معونة علمية
ومعنوية طيلة فترة البحث فجزاها الله عني كل خير.

و إلى الست ماجدة علي أمين / جامعة بغداد / كلية العلوم
للبنات / لما أبدته من مساعدة قيمة خلال فترة البحث.

وأخيراً " أتوجه بالشكر الجزيل إلى جميع من ساعدني طيلة
فترة البحث وممن لم يسعني ذكر أسماؤهم.

هناء الشمري

الخلاصة:

تم في هذا البحث حساب الطاقة السطحية للتصدع لبوليمير البولي اثيلين المدعم بنوعين من الألياف ، حيث النموذج الأول يتألف من مادة البولي اثيلين المدعمة بألياف الزجاج ، والنموذج الثاني يتألف من مادة البولي اثيلين المدعمة بألياف الكربون ، وذلك بتغيير الإجهاد المسلط بصورة عمودية على الألياف المنضدة بشكل متوازٍ في المدى الذي يتراوح بين (٧ - ١٧ μm) ومحتوى الألياف في المدى الذي يتراوح بين (٤ - ١) ألياف ، ثم تم حساب معامل يونك للمتراكب وكثافة المتراكب الناتج من عملية التقوية باستخدام قاعدة الخلط ، كما تم حساب المتانة النوعية للمتراكب الناتج ولكلا النموذجين . كما تم تغيير النسبة الوزنية للألياف في المدى الذي يتراوح بين (٣٠٪) الى (٧٠٪) بزيادة مقدارها (٢٠٪) ولكلا النموذجين المقوى بألياف الكربون والمقوى بألياف الزجاج ، حيث تم حساب الكسر الحجمي للألياف ومعرفة تأثيره على معامل يونك والكثافة لكلا النموذجين .

كما تم حساب معامل يونك للمتراكب عندما يكون الإجهاد مسلطاً بصورة موازية للألياف المنضدة بشكل متوازٍ ، ومقارنته مع معامل يونك للمتراكب عندما يكون الإجهاد مسلطاً بصورة عمودية على الألياف ولكلا النموذجين .

كما تم دراسة انفعال الألياف والمتراكب الناتج بسبب تغيير الإجهاد المسلط على الألياف والمتراكب ولكلا النموذجين بثبوت معامل يونك ، كما تم معرفة تأثير زيادة معامل يونك على قيم الانفعال بثبوت الإجهاد المسلط (٥.٥ GPa) والناتجة من زيادة محتوى الألياف في المدى (٣٠٪) نسبة وزنية للألياف الى (٧٠٪) نسبة وزنية ، كما تم دراسة الانفعال عندما يكون الإجهاد مسلط بصورة موازية للألياف ومقارنته مع قيم الانفعال الناتجة من الإجهاد المسلط بصورة عمودية على الألياف ولكلا النموذجين .

أظهرت نتائج الطاقة السطحية للتصدع إنها تزداد بزيادة الإجهاد المسلط في المدى (٣-٧ GPa) ، كما أنها تزداد بزيادة قطر الألياف ومحتوى الألياف ولكلا النموذجين ، كما أثبتت النتائج إن الطاقة السطحية للتصدع الناتجة من تكسر الألياف في المتراكب المقوى بألياف الزجاج أكبر من الطاقة السطحية للتصدع الناتجة من تكسر الألياف في المتراكب المقوى بألياف الكربون .

كما أظهرت النتائج إن التقوية بألياف الكربون والتقوية بألياف الزجاج تؤدي إلى الحصول على متراكب ذي معامل يونك متساوٍ تقريباً في حالة محتوى الألياف يتراوح بين (٤-١) ، ويزداد معامل يونك بزيادة محتوى الألياف (الكسر الحجمي للألياف) في المدى الذي يتراوح بين (٣٠٪) الى (٧٠٪) ، كما أن التقوية بألياف الكربون والتقوية بألياف الزجاج تؤدي إلى الحصول على متراكب بكثافة متساوية في حالة عدد الألياف ($n=٤$) . وتزداد الكثافة بزيادة النسبة الوزنية للألياف في المتراكب من (٣٠٪) الى (٧٠٪) كما يمتلك المتراكب المدعم بألياف الكربون والمتراكب المدعم بألياف الزجاج متانة نوعية متساوية في حالة عدد ألياف التقوية ($n=٤$) وتقل المتانة النوعية بزيادة كثافة المتراكب الناتجة من زيادة النسبة الوزنية للألياف في المدى من (٣٠٪) الى (٧٠٪) بثبوت الإجهاد المسلط . وتزداد المتانة النوعية بزيادة الإجهاد المسلط .

أما بالنسبة للانفعال فقد أثبتت النتائج أن الانفعال يزداد بزيادة الإجهاد المسلط بثبوت معامل يونك ، ويقال الانفعال بزيادة معامل يونك وثبوت الإجهاد المسلط ، كما ان انفعال المتراكب المدعم بألياف الزجاج أكبر من انفعال المتراكب المدعم بألياف الكربون ، ويقال الانفعال في حالة استخدام معامل يونك الناتج من تسليط الإجهاد بصورة موازية للألياف ولكلا النموذجين . كما أثبتت النتائج أن الحصول على أعلى معامل يونك للمتراكب يحصل عندما يسليط الإجهاد بصورة موازية للألياف .

كما تم استخدام لغة الفورتران في إعداد البرامج الرياضية لتقدير القيم الحسابية .

المحتويات

الصفحة	الموضوع
١	الفصل الأول : الجانب النظري
١	١-١ مقدمة
٦	٢-١ الدراسات السابقة
٩	٣-١ هدف الدراسة
١٠	الفصل الثاني: بعض المفاهيم النظرية
١٠	١-٢ بعض الخواص الميكانيكية للمواد المتراكبة
١٠	١-١-٢ الإجهاد
١٣	٢-١-٢ الانفعال (المطاوعة)
١٧	٣-١-٢ الطاقة السطحية للتصدع
٢١	٢-٢ تأثير انتقال الإجهاد المرن
٢٣	٣-٢ تأثير قطر الألياف على صلادة التصدع والطاقة السطحية للتصدع
٢٥	٤-٢ تأثير محتوى الألياف على صلادة التصدع والطاقة السطحية للتصدع
٢٥	٥-٢ تأثير متانة الألياف على صلادة التصدع والطاقة السطحية للتصدع
٣٣	٦-٢ مشاركة المصفوفة في صلادة التصدع أو شغل التصدع والطاقة السطحية للتصدع
٣٧	الفصل الثالث : الجزء العملي والبرنامج الرياضي
٣٧	١-٣ مقدمة
٣٩	٢-٣ المواد المفترضة في النموذج المتراكب الاختياري
٣٩	٣-٣ تصميم النموذج
٤٠	٤-٣ إعداد البرنامج
٤٠	١-٤-٣ برنامج حساب الطاقة السطحية للتصدع بتغيير قيمة الإجهاد المسلط وثبوت قطر الليف ومعامل يونك وإجهاد القص ومحتوى الألياف
٤١	٢-٤-٣ برنامج حساب الطاقة السطحية للتصدع بتغيير قيمة القطر وثبوت الإجهاد المسلط ومعامل يونك وإجهاد القص ومحتوى الألياف
	الموضوع
٤٢	٣-٤-٣ برنامج حساب الطاقة السطحية للتصدع بتغيير قيمة محتوى الألياف وثبوت الإجهاد المسلط وقطر الليف ومعامل يونك وإجهاد

	القص
٤٣	٤-٤-٣ برنامج حساب معامل يونك للمترابك ($E_c=A$) باستخدام قاعدة الخلط بثبوت قيمة القطر ($D=7\mu m$ أو $D=16\mu m$) ومحتوى الألياف ($n=4$) حيث ($B=\pi D^2$) وثبوت معامل يونك لكل من ليف التقوية ($E_f=E$) ومادة المصفوفة ($E_m=C$):
٤٤	٥-٤-٣ برنامج حساب معامل يونك للمترابك باستخدام قاعدة الخلط بتغيير محتوى الاللياف (النسبة الوزنية للاللياف)
٤٥	٦-٤-٣ برنامج حساب كثافة المترابك باستخدام قاعدة الخلط Rule of Mixture بثبوت كثافة كل من ليف التقوية ومادة المصفوفة:
٤٦	٧-٤-٣ برنامج حساب كثافة المترابك باستخدام قاعدة الخلط بثبوت كثافة كل من ليف التقوية ومادة المصفوفة وتغيير محتوى الاللياف في المترابك
٤٧	٨-٤-٣ برنامج حساب الانفعال بتغيير الإجهاد المسلط وثبوت معامل يونك
٤٨	٩-٤-٣ برنامج حساب الانفعال بثبوت الإجهاد المسلط وتغيير معامل يونك
٤٩	١٠-٤-٣ برنامج حساب المتانة النوعية بثبوت الكثافة وتغيير الإجهاد المسلط
٥٠	١١-٤-٣ برنامج حساب المتانة النوعية بتغيير الكثافة وثبوت الإجهاد المسلط
٥١	٥-٣ القياسات
٥١	١-٥-٣ قياس الطاقة السطحية للتصدع بتغيير الإجهاد المسلط
٥١	٢-٥-٣ قياس الطاقة السطحية للتصدع بتغيير قطر الألياف
٥١	٣-٥-٣ قياس الطاقة السطحية للتصدع بتغيير محتوى الألياف
٥٢	٤-٥-٣ قياس تأثير التقوية بألياف الكربون أو ألياف الزجاج على مادة البولي ايثيلين (مادة المصفوفة)
الصفحة	الموضوع
٥٢	٦-٣ قياس الانفعال بتغيير قيمة الإجهاد المسلط وثبوت معامل يونك للألياف
٥٣	الفصل الرابع : النتائج والمناقشة
٥٣	١-٤ مقدمة
٥٣	٢-٤ الطاقة السطحية للتصدع
٥٣	١-٢-٤ نتائج تأثير الإجهاد المسلط على الطاقة السطحية للتصدع
٥٦	٢-٢-٤ نتائج تأثير تغيير قطر الألياف على الطاقة السطحية للتصدع
٥٩	٣-٢-٤ نتائج تأثير تغيير محتوى الألياف على الطاقة السطحية للتصدع
٦٢	٣-٤ نتائج تأثير التقوية بألياف الزجاج وألياف الكربون على مادة

	البولي اثيلين
٧٨	٤-٤ نتائج تأثير زيادة الإجهاد المسلط على الانفعال للألياف و للمترابك المدعم بألياف الزجاج والمترابك المدعم بألياف الكربون
٨٨	٤-٥ الاستنتاجات
٩٠	٤-٦ المشاريع المستقبلية
٩١	المصادر
٩٤	الخلاصة باللغة الانكليزية

قائمة بالاشكال المستخدمة

الصفحة	الشكل
	الفصل الاول
٢	(١-١) أشكال ألياف التقوية
٥	(٢-١) نسب الإجهاد - الانفعال لليف والمصفوفة والمترابك
	الفصل الثاني
١٠	(١-٢) نظام النسب بين الاجهادات الموضعية ومعدل الاجهادات
١١	(٢-٢) مستويات معدل الاجهادات
١٢	(٣-٢) تعاريف الإجهاد σ , τ
١٣	(٤-٢) نسب الانفعال العمودي والإزاحة
١٤	(٥-٢) نسبة الانفعال - الإزاحة لانفعال القص
١٦	(٦-٢) تعريف الانفعال α , ϵ_n
٢١	(٧-٢) ليف بالقرب من قمة شق
٢٣	(٨-٢) شغل التصدع لسبيكة مترابكة نحاس - تنكستن مع حجم كسري ثابت لليف وبأقطار ليف مختلفة
٢٧	(٩-٢) مقارنة المتانة ومعاملات المرونة للكرافيت /الابوكسي والكرافيت - زجاج / الابوكسي
٢٩	(١٠-٢) المتانة وصلادة التصدع لمترابكات الكرافيت وخليط الصفانج
٣٥	(١١-٢) المقطع العرضي لمترابكة نحاس - تنكستن
٣٥	(١٢-٢) مترابكة نحاس تنكستن ، حصول الفشل وحساب اتساع التشوه اللدن

الفصل الثالث	
٣٧	(١-٣) رقاقة لانهاية تحتوي (٤) ألياف تقوية والقوة المسلطة عمودية على الألياف
٣٧	(٢-٣) رقاقة لانهاية تحتوي (٤) ألياف تقوية والقوة المسلطة موازية للألياف
٣٨	(٣-٣) اتساع الشق وحصول الفشل بسبب استمرار تسليط القوة العمودية على النموذج
الفصل الرابع	
٥٤	(١-٤) العلاقة بين الطاقة السطحية للتصدع والإجهاد المسلط بثبوت عدد ألياف التقوية (٤) ألياف زجاج وثبوت قطر الألياف (١٦ μm) وثبوت معامل يونك (٧٠ GPa) وإجهاد القص (٣*١٠ ^{-٣} GPa)
الصفحة	الشكل
٥٥	(٢-٤) العلاقة بين الطاقة السطحية للتصدع والإجهاد المسلط بثبوت عدد ألياف التقوية (٤) ألياف كربون وثبوت قطر الألياف (٧ μm) معامل يونك (٢٥٠ GPa) وإجهاد القص (٣*١٠ ^{-٣} GPa)
٥٨	(٣-٤) العلاقة بين زيادة قطر الألياف في المدى الذي يتراوح بين (٧ - ١٧) μm والطاقة السطحية للتصدع للمترابك المدعم بألياف الزجاج بثبوت قيمة الإجهاد المسلط وإجهاد القص ومعامل يونك ومحتوى الألياف .
٥٩	(٤-٤) العلاقة بين تغير قطر الألياف والطاقة السطحية للتصدع للمترابك المدعم بألياف الكربون بثبوت الإجهاد المسلط وإجهاد القص ومعامل يونك ومحتوى الألياف.
٦١	(٥-٤) العلاقة بين زيادة محتوى الألياف في المدى الذي يتراوح بين (n=١ - n=٤) والطاقة السطحية للتصدع للمترابك المدعم بألياف الزجاج بثبوت قيمة الإجهاد المسلط (٥.٥ GPa) وإجهاد القص (٣*١٠ ^{-٣} GPa) ومعامل يونك (٧٠ GPa) وبثبوت قطر الليف الزجاجي (١٦*١٠ ^{-٤} cm) أو (١٦ μm)
٦٢	(٦-٤) العلاقة بين محتوى الألياف والطاقة السطحية للتصدع للمترابك المدعم بألياف الكربون بثبوت قطر ليف الكربون (٧ μm) أو (٧ μm) وإجهاد القص (٣*١٠ ^{-٣} GPa) وإجهاد الشد (٥.٥ GPa)
٦٤	(٧-٤) العلاقة بين معامل يونك للمترابك المدعم بالألياف الكربون وزيادة الكسر الحجمي للألياف (زيادة محتوى الألياف)
٦٦	(٨-٤) العلاقة بين معامل يونك للمترابك المدعم بالألياف الزجاج وزيادة الكسر الحجمي للألياف (زيادة محتوى الألياف)
٦٧	(٩-٤) العلاقة بين معامل يونك للمترابك المدعم بالألياف الكربون وزيادة الكسر الحجمي للألياف (زيادة محتوى الألياف) المنضدة بصورة متوازية والإجهاد مسلط بصورة موازية لها .
٦٨	(١٠-٤) العلاقة بين معامل يونك للمترابك المدعم بالألياف الزجاج وزيادة الكسر الحجمي للألياف (زيادة محتوى الألياف) المنضدة بصورة متوازية والإجهاد مسلط بصورة موازية لها .
٦٩	(١١-٤) العلاقة بين كثافة المترابك المدعم بالألياف الكربون وزيادة الكسر الحجمي للألياف (زيادة محتوى الألياف) المنضدة بصورة متوازية .

٧٠	(١٢-٤) العلاقة بين كثافة المتراكب المدعم باللياف الزجاج وزيادة الكسر الحجمي للألياف (زيادة محتوى الاليف) المنضدة بصورة متوازية .
الصفحة	الشكل
٧٢	(١٣-٤) العلاقة بين المتانة النوعية والإجهاد المسلط لألياف الزجاج بثبوت كثافة ألياف الزجاج (2.5 Mg/m^3)
٧٣	(١٤-٤) العلاقة بين المتانة النوعية والإجهاد المسلط لألياف الكربون بثبوت كثافة ألياف الكربون (1.8 Mg/m^3)
٧٤	(١٥-٤) العلاقة بين المتانة النوعية والإجهاد المسلط للمترابك المدعم باللياف الزجاج والمترابك المدعم باللياف الكربون بثبوت كثافة المترابك (0.97) (Mg/m^3 في حالة عدد الاليف $n=4$)
٧٦	(١٦-٤) العلاقة بين كثافة المترابك والمتانة النوعية له بثبوت الإجهاد المسلط (5.5 GPa) وزيادة النسبة الوزنية لاليف الكربون في المترابك من (30%) الى (70%)
٧٧	(١٧-٤) العلاقة بين كثافة المترابك المدعم باللياف الزجاج والمتانة النوعية له بثبوت الإجهاد المسلط (5.5 GPa) وزيادة النسبة الوزنية لاليف الزجاج في المترابك من (30%) الى (70%)
٧٩	(١٨-٤) العلاقة بين زيادة الإجهاد المسلط وانفعال الألياف لألياف الزجاج بثبوت معامل يونك لألياف الزجاج (70 GPa)
٨٠	(١٩-٤) العلاقة بين زيادة الإجهاد المسلط وانفعال الألياف لألياف الكربون بثبوت معامل يونك لألياف الكربون (250 GPa)
٨١	(٢٠-٤) العلاقة بين زيادة الإجهاد المسلط وانفعال المترابك المدعم باللياف الزجاج والمترابك المدعم باللياف الكربون بثبوت معامل يونك للمترابك (8 GPa)
٨٢	(٢١-٤) العلاقة بين انفعال المترابك ومعامل يونك للمترابك المدعم باللياف الكربون بثبوت الإجهاد المسلط بصورة عمودية على الاليف المنضدة بشكل متواز (5.5 GPa) وزيادة النسبة الوزنية للاليف من (30%) الى (70%)
٨٤	(٢٢-٤) العلاقة بين انفعال المترابك ومعامل يونك للمترابك المدعم باللياف الزجاج بثبوت الإجهاد المسلط بصورة عمودية على الاليف (5.5 GPa) وزيادة النسبة الوزنية للاليف من (30%) الى (70%)
٨٥	(٢٣-٤) العلاقة بين زيادة معامل يونك و انفعال المترابك الناتج من زيادة محتوى الاليف للمترابك المدعم باللياف الكربون في حالة ثبوت الإجهاد المسلط بصورة موازية للاليف (5.5 GPa)
الصفحة	الشكل
٨٦	(٢٤-٤) العلاقة بين زيادة معامل يونك و انفعال المترابك الناتج من زيادة محتوى الاليف للمترابك المدعم باللياف الزجاج في حالة ثبوت الإجهاد المسلط بصورة موازية للاليف (5.5 GPa)

قائمة بالجداول المستخدمة

الصفحة	رقم الجدول
الفصل الثاني	
٢٦	١-٢ الخواص الميكانيكية لكلا الحالتين uniwoven و biwoven للكرافيت وخليط الكرافيت - زجاج
٢٨	٢-٢ الخواص الميكانيكية وخواص التصدع للكرافيت وخليط صفائح الكرافيت - زجاج
٣٠	٣-٢ بعض القيم النموذجية لبعض الخواص الميكانيكية للألياف
٣١	٤-٢ بعض الخواص الميكانيكية للمواد والالياف
٣٤	٥-٢ شغل التصدع لتكسر مصفوفة النحاس المقواة بشعيرات التنكستن الهشة والقابلة للطرق .
الفصل الرابع	
٥٤	١-٤ النتائج التي تم الحصول عليها من تغير الإجهاد المسلط على المترابك المدعم بألياف الزجاج والطاقة السطحية للتصدع الناتجة بثبوت محتوى الألياف ($n=٤$) ومعامل يونك لألياف الزجاج (٧٠ GPa) وإجهاد القص ($٣*١٠^{-١} \text{ GPa}$) وقطر الليف النموذجي لألياف الزجاج ($١٦ \mu\text{m}$)
٥٥	٢-٤ النتائج التي تم الحصول عليها من تغير الإجهاد المسلط على المترابك المدعم بألياف الكربون والطاقة السطحية للتصدع الناتجة بثبوت محتوى الألياف ($n=٤$) ومعامل يونك لألياف الكربون (٢٥٠ GPa) وإجهاد القص ($٣*١٠^{-٣} \text{ GPa}$) وقطر الليف النموذجي لألياف الكربون ($٧ \mu\text{m}$) = ($٧*١٠^{-٤} \text{ cm}$)
٥٧	٣-٤ النتائج التي تم الحصول عليها من تغير قطر الألياف على الطاقة السطحية للتصدع بثبوت قيمة الإجهاد المسلط (٥.٥ GPa) ومعامل يونك لألياف الزجاج (٧٠ GPa) وإجهاد القص ($٣ * ١٠^{-٣} \text{ GPa}$) وعدد الألياف ($n = ٤$)
الفصل الخامس	
٥٨	٤-٤ نتائج تغير القطر على الطاقة السطحية للتصدع للمترابك المدعم بألياف الكربون بثبوت الإجهاد المسلط (٥.٥ GPa) وإجهاد القص ($٣ * ١٠^{-٣} \text{ GPa}$) ومعامل يونك لألياف الكربون (٢٥٠ GPa) ومحتوى الألياف

٦٠	النتائج التي تم الحصول عليها من تغير محتوى الألياف على الطاقة السطحية للتصدع بثبوت قيمة الإجهاد المسلط (٥.٥ GPa) ومعامل يونك لألياف الزجاج (٧٠ GPa) وإجهاد القص ($10^{-3} \text{ GPa} * ٣$) وقطر الليف النموذجي للزجاج ($١٦ \mu\text{m}$)	٥-٤
٦١	نتائج تغير محتوى الألياف على الطاقة السطحية للتصدع للمترابك المدعم بألياف الكربون بثبوت الإجهاد المسلط (٥.٥ GPa) وإجهاد القص ($10^{-3} \text{ GPa} * ٣$) ومعامل يونك لألياف الكربون (٢٥٠ GPa) وقطر الليف النموذجي للكربون ($٧ \mu\text{m}$) ، أو ($٧ * 10^{-4} \text{ cm}$) .	٦-٤
٦٣	نتائج تأثير التقوية على معامل يونك لمادة البولي اثيلين لكلا النموذجين المدعم بألياف الزجاج والمدعم بألياف الكربون بثبوت معامل يونك لمادة البولي اثيلين (٨ GPa) وثبوت عدد الياف التقوية ($n=٤$)	٧-٤
٦٣	نتائج تأثير التقوية على كثافة مادة البولي اثيلين لكلا النموذجين المدعم بألياف الزجاج والمدعم بألياف الكربون بثبوت كثافة مادة البولي اثيلين ($٠.٩٧ \text{ Mg} / \text{m}^3$) وثبوت عدد الياف التقوية ($n=٤$)	٨-٤
٦٤	نتائج زيادة محتوى الالياف على معامل يونك للمترابك المدعم بالياف الكربون بثبوت معامل يونك لمادة البولي اثيلين (٨GPa) ومعامل يونك لالياف الكربون (٢٥٠ GPa) عندما يكون الاجهاد مسلط بصورة عمودية على الألياف	٩-٤
الصفحة	رقم الجدول	
٦٥	نتائج زيادة محتوى الالياف على معامل يونك للمترابك المدعم بالياف الزجاج بثبوت معامل يونك لمادة البولي اثيلين (٨GPa) ومعامل يونك لالياف الزجاج (٧٠ GPa) عندما يكون الاجهاد المسلط بصورة عمودية على الالياف	١٠-٤
٦٦	نتائج زيادة محتوى الالياف على معامل يونك للمترابك المدعم بالياف الكربون بثبوت معامل يونك لمادة البولي اثيلين (٨GPa) ومعامل يونك لالياف الكربون (٢٥٠ GPa) في حالة الاجهاد مسلط بصورة موازية للالياف	١١-٤
٦٧	نتائج زيادة محتوى الالياف على معامل يونك للمترابك المدعم بالياف الزجاج بثبوت معامل يونك لمادة البولي اثيلين (٨GPa) ومعامل يونك لالياف الزجاج (٧٠ GPa) عندما يكون الاجهاد مسلط بصورة موازية	١٢-٤
٦٩	نتائج زيادة محتوى الالياف على كثافة المترابك المدعم بالياف الكربون بثبوت كثافة مادة البولي اثيلين (٠.٩٧ Mg/m^3)	١٣-٤
٧٠	نتائج زيادة محتوى الالياف على كثافة المترابك المدعم بالياف	١٤-٤

	الزجاج بثبوت كثافة مادة البولي ايثيلين (0.97 Mg/m^3)	
٧٢	تأثير زيادة الإجهاد المسلط في المدى ($3-7 \text{ GPa}$) على المتانة النوعية لألياف الزجاج بثبوت كثافة الألياف (2.0 Mg/m^3)	١٥-٤
٧٣	تأثير زيادة الإجهاد المسلط في المدى ($3-7 \text{ GPa}$) على المتانة النوعية لألياف الكربون بثبوت كثافة الألياف (1.8 Mg/m^3)	١٦-٤
٧٤	تأثير زيادة الإجهاد المسلط في المدى ($3-7 \text{ GPa}$) على المتانة النوعية للمترابك المدعم بألياف الزجاج والمترابك المدعم بألياف الكربون بثبوت كثافة المترابك (0.97 Mg/m^3) في حالة عدد الألياف ($n=4$)	١٧-٤
٧٥	نتائج زيادة محتوى الألياف على المتانة النوعية للمترابك المقوى بألياف الكربون بثبوت الإجهاد المسلط على النموذج (0.5 GPa)	١٨-٤
الصفحة		رقم الجدول
٧٦	نتائج زيادة محتوى الألياف على المتانة النوعية للمترابك المدعم بألياف الزجاج بثبوت الإجهاد المسلط على النموذج (0.5 GPa)	١٩-٤
٧٨	العلاقة بين الإجهاد المسلط والانفعال لألياف الزجاج بثبوت معامل يونك لألياف الزجاج (70 GPa)	٢٠-٤
٧٩	العلاقة بين الإجهاد المسلط والانفعال لألياف الكربون بثبوت معامل يونك لألياف الكربون (250 GPa)	٢١-٤
٨١	العلاقة بين الإجهاد المسلط والانفعال للمترابك المدعم بألياف الزجاج والمترابك المدعم بألياف الكربون بثبوت معامل يونك للمترابك (8 GPa) بثبوت عدد الألياف التقوية ($n=4$)	٢٢-٤
٨٢	نتائج زيادة معامل يونك على انفعال المترابك الناتج من زيادة محتوى الألياف للمترابك المدعم بألياف الكربون في حالة ثبوت الإجهاد المسلط بصورة عمودية على الألياف (0.5 GPa)	٢٣-٤
٨٣	نتائج زيادة معامل يونك على انفعال المترابك الناتج من زيادة محتوى الألياف للمترابك المدعم بألياف الزجاج في حالة ثبوت الإجهاد المسلط بصورة عمودية على الألياف (0.5 GPa)	٢٤-٤
٨٥	نتائج زيادة معامل يونك على انفعال المترابك الناتج من زيادة محتوى الألياف للمترابك المدعم بألياف الكربون في حالة ثبوت الإجهاد المسلط بصورة موازية للألياف (0.5 GPa)	٢٥-٤
٨٦	يوضح نتائج زيادة معامل يونك على انفعال المترابك الناتج	٢٦-٤

من زيادة محتوى الالياف للمترابك المدعم بالياف الزجاج في حالة ثبوت الاجهاد المسلط بصورة موازية للالياف (٥.٥GPa)
--

قائمة بالرموز المستخدمة

الوحدات	معنى الرمز	الرمز
Msi=٦.٨٩ Gpa	معامل يونك للمرونة	E
/	الحجم الكسري	f
/	الانفعال	ϵ
/	انفعال القص الهندسي	ϵ_s
GPa . cm ^٢	الطاقة السطحية للتصدع	γ
Jol. , erg	الشغل المنجز	U
$\mu\text{m}, \text{mm},$	قطر الليف	D
Psi, ksi, GPa, MPa	اجهاد القص	τ_y
N , D	القوة المتحولة على طول الليف	F
Psi, ksi, GPa, MPa	اجهاد الشد	σ_u
cm, mm, μm	المسافة	x
/	نسبة بوازن	v
cm, mm, μm	الازاحة	u
Fiber / unit area	عدد الالياف في وحدة المساحة	n
Vol.%	محتوى الالياف في المترابك	P
Erg /cm ^٢ , ksi $\sqrt{\text{in}}$	صلادة التصدع	K
Psi, ksi, GPa, MPa	اجهاد الفشل	σ_c
cm, mm, μm	نصف طول الشق	c
Gpa, MPa	معامل القص	G
cm, mm, μm	طول الليف على كلا جانبي الشق	L
mm, μm	المسافة بين اقرب ليفين متجاورين	A
m	المتانة النوعية	k_c
Gpa, MPa	المتانة	S
Mg/m ^٣ , G/cm ^٣	الكثافة	ρ
mm, μm		

قائمة بالمصطلحات العلمية المستخدمة

Composite material	مادة مركبة
Metallic materials	مواد معدنية
Ceramic materials	مواد سيراميكية
Metallic whiskers	شعيرات معدنية
Fracture Surface Energy	الطاقة السطحية للتصدع
Young's Modulus	معامل يونك

Work of Fracture	شغل التصدع
Strengt	المتانة
Specific Strength	المتانة النوعية
Fibers	الياف
Matrix	مصفوفة
Fiber Reinforced Materials	مواد معززة بالالياف
Glass Fibers	الياف الزجاج
Carbon Fibers	الياف الكربون
Classical Laminate Theory	النظرية الصفائحية الكلاسيكية
Stress	الاجهاد
Strain	الانفعال
Tensile Stress	اجهاد الشد
Shear Stress	اجهاد القص
Shear Strain	انفعال القص
Failure Stress	اجهاد الفشل
Tensile Strain	انفعال الشد
Composite Failure Strain	انفعال الفشل للمترابك
Displacement	الازاحة
Composite Shell	قشرة مترابكة
Bending Rigidities	صلابة الانحناء
Curvature	التقوس او بشكل انحناء
Solid Elements	عناصر صلابة
Finite Elements	عناصر نهائية
Infinite Elements	عناصر لا نهائية
Ax symmetric Composite Structure	مترابك متناظر حول المحور
Centered Holl	فجوة مركزية
Fiber Diameter	قطر الليف
Force	القوة
Area	المساحة
Stiffness	الصلابة
Corrosion Resistance	مقاومة التآكل
Wear Resistance	مقاومة الخلع
Weight	الوزن
Microscopic	المجهري
Macroscopic	العياني
Creep Resistance	مقاومة الزحف
Thermal Insulation	العزل الحراري
Acoustical Insulation	العزل الصوتي
Fatigue Life	عمر الكلال
Poison's Ratio	نسبة بوازن

الفصل الأول

الجانب النظري

١-١ مقدمة :- INTRODUCTION

تتكون المادة المترابطة (Composite material) من جمع مادتين مختلفتي الخواص الميكانيكية والفيزيائية بطرائق تقنية مختلفة ، حسب طبيعة المواد والغرض المطلوب ، بهدف استنباط خواص جديدة لم تكن متوافرة في المواد الأصلية . ولتصنيع مادة مركبة يجب توفير مادتين [١ ، ٢] : المادة الأولى (مادة الأساس) وتكون ؛ اما مواد معدنية Metallic Materials متكونة من المعادن وسبائكها وتتميز بثقل وزنها ومطانتها العالية أو مواد سيراميكية Materials Ceramic التي تمتاز بخفة وزنها ومقاومتها المرتفعة لدرجات الحرارة العالية ولكنها ضعيفة المقاومة لقوى الصدم ، أو مادة بوليميرية وتتميز بمرونتها العالية وخفة وزنها . أما المادة الثانية فهي مادة التقوية والهدف منها الحصول على خواص تعزز خواص المادة الأساس فعلى سبيل المثال يتطلب أن تمتلك مادة التقوية المقاومة العالية والمطيلية المناسبة حتى تستطيع تقوية المواد الأساس [٣] .

خلال السنوات القليلة الماضية كان الاهتمام مركزاً " باتجاه تقوية المعادن بألياف السيراميك ذات المتانة العالية أو مع شعيرات معدنية أو لا معدنية (metallic or non-metallic whiskers) ذات قيم متانة نظرية عالية . إن الحصول على متانة فائقة للمواد المقواة بالشعيرات المعدنية أو اللامعدنية جعلتها موضوعاً أكثر أهمية لاستخدامها كوسط مقوي (Reinforcing Medium) ، لكن تتطلب عملية التصنيع (التشكيل Forming) تعقيداً تقنياً لضمان المشاركة بكميات كافية من الشعيرات لتقوية المصفوفة [١] هناك طرائق عدة للتقوية منها التقوية بالدقائق (Reinforcing by Particulate) التي تكون بقطر أكبر من ($1 \mu\text{m}$) وبأشكال مختلفة منها الأبرية والكروية والقشرية ، كذلك تتم التقوية بالتشنت (Reinforcing by Dispersed) ويكون قطر الدقائق أقل من ($0.1 \mu\text{m}$) . أما أكثر أساليب التقوية شيوعاً فهي التقوية بالألياف (Reinforcing by Fibers) نظراً لما تتميز به من قوة كبيرة مقارنة بالمواد الراتنجية ، وتكون الألياف بأنواع وأشكال مختلفة فمنها ما يكون بشكل مستمر أو مقطع أو بشكل ظفائر محاكاة في كلا الحالتين (Uniwoven) و (biwoven) [٣] .

إن الخواص التي تتحسن بواسطة تصنيع المواد المركبة هي [٦,٥] :- المتانة (strength) ، الصلابة (stiffness) ، مقاومة التآكل (corrosion resistance) ، مقاومة الخلع (wear resistance) ، الوزن (weight) ، عمر الكلال (fatigue life) ، مقاومة الزحف (creep resistance) ، العزل الحراري (thermal insulation) والعزل الصوتي (acoustical insulation) .

تمثل المصفوفة شكل الجسم وتحتوي بقية الأجزاء . لذلك فان وظيفة المصفوفة أنها تدعم الألياف وتحميها نموذجياً و يجب أن تكون المصفوفة واطئة الصلابة نسبياً low stiffness ، والمتانة strength والكثافة density ، وبناءً على ذلك ، فان المادة المعززة للقوة (الألياف) reinforcing material تكون عالية الصلابة high stiffness وعالية المقاومة high strength وواطئة الكثافة low density [٧] وكذلك ، يجب أن يمتلك الليف مقاومة شد عالية high tensile strength ، ووزن واطئ low weight وصلابة وقوة

وتقسم الطرق التحليلية المستخدمة للمواد المتراكبة الى قسمين رئيسيين الدراسة المجهرية والدراسة العيانية . تهتم الدراسة المجهرية الدقيقة للمواد المركبة بدراسة المواد المتراكبة غير الاتجاهية unidirectional composite او غير المتجانسة heterogeneous composite material [٥,٣] . من المعاملات المهمة في الدراسة المجهرية الدقيقة Micromechanical للمواد المركبة هي : شكل أو هيئة (المصفوفة - الليف) وتحديد الفراغ void inclusions والحجم الكسري للليف fiber volume fraction . ومعامل المرونة (E) modulus of elasticity على اتجاه خط الطول longitudinal واتجاه خط التقاطع transverse direction في مصطلح الحجم الكسري للليف والمصفوفة وفقا لقاعدة الخلط rule of mixture يعرف بالشكل التالي [٥ , ٦] :-

$$E_1 = E_f f_f + E_m f_m \quad \dots (١-١)$$

حيث (E_1) تمثل معامل يونك للمترابك عندما يكون الإجهاد مسلط بصورة موازية للألياف في المترابك وحسب قاعدة الخلط .

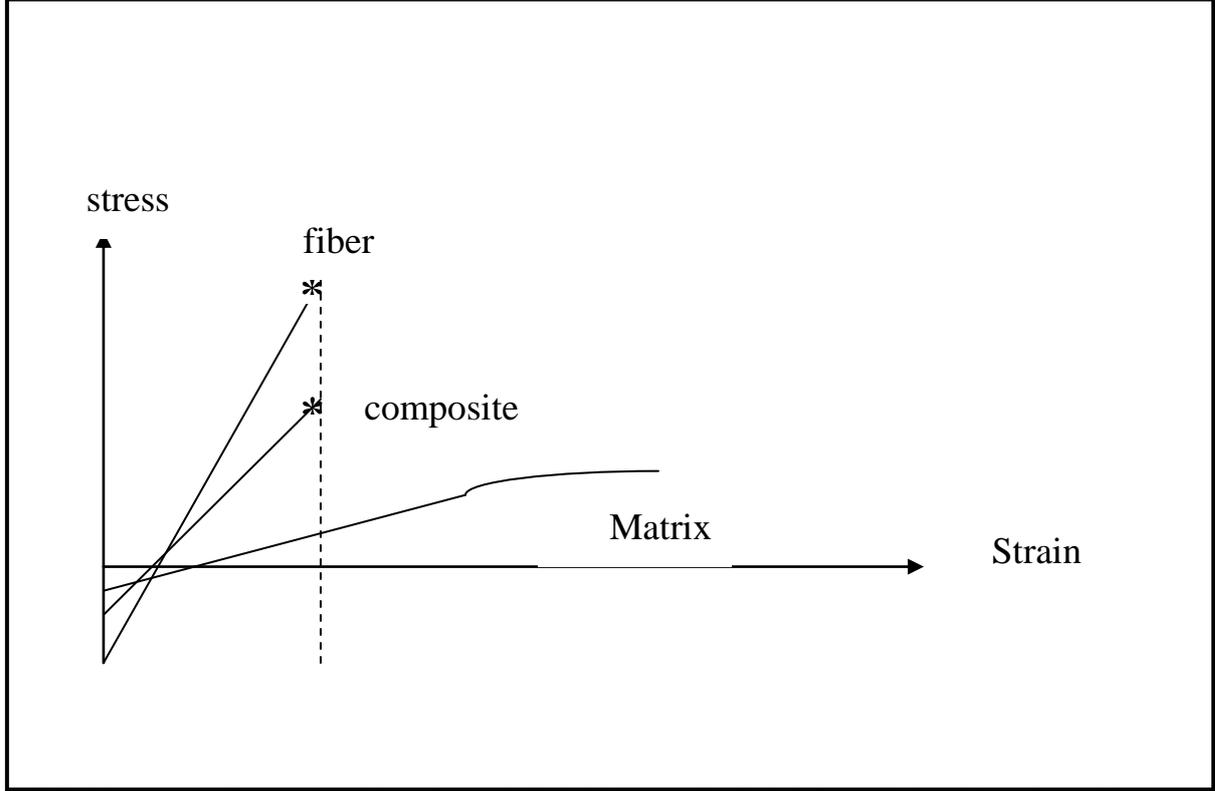
اما معامل يونك (Young's Modulus) للمترابك (E_2) عندما يكون الإجهاد مسلطا بصورة عمودية على الألياف في المترابك وحسب قاعدة الخلط فيعرف :

$$E_2 = E_f E_m / (f_m E_f + f_f E_m) \quad \dots (٢-١)$$

حيث ان f_f تمثل الحجم الكسري للليف
 E_f تمثل معامل يونك للليف
 f_m تمثل الحجم الكسري للمصفوفة
 E_m تمثل معامل يونك للمصفوفة

أما الدراسة العيانية: تهتم بسلوك المواد المتراكبة بافتراض ان المادة متجانسة من الناحية الظاهرية أي فقط من خلال معدلات الخواص الظاهرية average apparent properties للمترابكات [٢ , ٦ , ٧] ، حيث إن خواص الصلابة ، والمقاومة وبقية الخواص تبنى على أساس محورية تنضيد الليف fiber orientation ، عدد الصفائح number of laminates ، سمك كل صفيحة thickness of every laminate ، وكل المتغيرات الأخرى في تصميم البنية [٢ , ٥ - ٧] .

الشكل (٢-١) يوضح القاعدة (الأساس) للملاحظات السابقة :-



يظهر من الشكل ان فشل الـ fiber failure strain يظهر غير خطي في القيم الأعلى من انفعال الفشل للليف .
من التطبيقات المهمة للمواد البوليميرية المقواة بالألياف هي استخدامها في صناعة أبدان الطائرات والمركبات الفضائية ، حيث أن المتراكبات البوليميرية المقواة بالألياف fiber- reinforced polymer composites ذات النسب العالية للمقاومة إلى الوزن (high strength to weight ratio) والصلابة إلى الوزن (high stiffness to weight ratio) تمتلك أهمية أكثر في مثل هذه التطبيقات الحساسة للوزن ، كذلك تستخدم كأنظمة للدوران بتعجيل ثابت وأن البوليميرات المقواة بألياف الكربون carbon fiber reinforced polymers تستخدم في منظومات الطرد المركزي لتخصيب اليورانيوم [٧ , ١٢] .

٢-١ : الدراسات السابقة Previous Studies

إن أول تطور للنظرية الصفائحية الكلاسيكية classical lamination theory قام بوصفه Mindlin في عام ١٩٥١ حيث يتضمن وصف التنوع الثابت لانفعال القص shear strain والاجهادات خلال صفيحة أو قشرة سميكة مع إهمال تأثيرات الانفعال العمودي Normal Strain (ϵ_r) والاجهاد العمودي Normal Stress (σ_r) [١٣] .

كما وجد العالمان **KELLY و COOPER** في عام ١٩٦٧ بأنه عندما يحدث تشقق الليف او تكسر الليف فان الإجهاد على الألياف يكون في أعلى قيمة له في حيز الشق. [١٤]
قام العالم **Piggott** في عام ١٩٧٠ بتخمين او تقدير القيمة النظرية للتصدع أو التشقق الصلد لمواد معززة بالألياف حيث وجد أن الطاقة السطحية للتصدع تزداد مع زيادة محتوى الألياف ومتانة المكون للألياف وقطر الألياف وتقل مع زيادة معامل المرونة للألياف وصلادة المترابك [١٥] .

وفي عام ١٩٧٢ قام **Barker** بتقديم وصف تحليلي لعناصر نهائية ثلاثية الأبعاد لتحليل السمك الصفيحي لصفائح مترابكة بالالتواء باستخدام عناصر صلبة بمتغيرات متساوية isoperimetric مع إزاحات ثلاثية التمدد cubic displacement expansion في شكل المخطط والتنوع الخطي خلال سمك نموذج كل صفيحة [١٦] .

وفي عام ١٩٧٦ قام كل من **Natrajan و Panda** بوصف تشكيل عناصر نهائية finite elements لتحليل قشرات صفيحية مقواة بالألياف fiber – reinforced laminated متناظرة باتجاه محور x – axis لجسم دائر revolution subjected لحمل متناظر باتجاه المحور (ax symmetric load) [١٧] .

قام **Lee** في عام ١٩٨٠ بتحليل حمل صفيحة مترابكة ذات محورين biaxially load composite laminate مع فجوة مركزية تتألف من بعض الصفائح المركبة المقواة بالألياف مع تخصيص دوران كل ليف وحدد توزيع الإجهاد حول الفجوة [١٨] .

وفي عام ١٩٨٢ درس **Laws** اتساع نظرية لورنس Lawrence's theory لحساب منحنى الحمل / الإزاحة خلال اقتلاع الليف ومجال الشق crack والمتانة لمترابكة تحتوي الياف قصيرة وتم وصف تأثير الروابط ، والحد البيني لاقتلاع الليف وكذلك تم حساب متانة الروابط [١٩] .

وفي عام ١٩٨٤ قام **Theodrel** بدراسة التصدع السطحي لقشرة خشبية ، ووجد من ملاحظات الدراسة المجهرية لتصدع الفشل للقشرة الخشبية انه يظهر ثلاثة انواع سائدة من انواع الفشل وهي ، التصدع السطحي الموازي للقشرة الخشبية ينتج من انفعال القص المستعرض . والنوع الثاني انفعال القص الدوراني والنوع الثالث انفعال الشد [٢٠] .

وفي عام ١٩٨٤ 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 [٢١] .

وقام كل من **Zhang. و Evans** في عام ١٩٨٨ بوصف الطريقة العددية Numerical Method للتعبا بالخواص الميكانيكية للمواد المترابكة ، حيث ان طريقة المحددات النهائية تستخدم لحساب طاقات الانفعال [٢٢] .

وفي عام ١٩٨٩ درس كل من **Paul و Rao** تقدير الاجهادات والمتجه الجمعي للاجهاد الحاصل في فجوة دائرية لصفحة مترابكة معززة بالالياف بفعل الحمل المسلط بالاتجاه المستعرض وشرح اختلاف المتجه الجمعي للاجهاد مع سمك الصفيحة ، وحجم الفجوة ، وطبيعة توزيع الحمل [٢٣] .

اما في عام ١٩٩٩ قام **Shuguang** بوصف وحدة الخلية للتحليل المجهري Micromechanical Analysis للمترابكات غير الاتجاهية المقواة بالالياف ، حيث ان

الانظمة التي تم عدها أخذت بنظر الاعتبار الوصف المتناظر في الانظمة المثالية لـ (الليف – المصروفة) [٢٤] .

كما قام **Abid Al –Raheem** في عام ٢٠٠٠ بدراسة تحليل الاجهادات لاسطوانة مركبة صفيحية مقواة بالألياف والمعرضة إلى أحمال ميكانيكية وحرارية وثرموميكانيكية مختلفة بالاعتماد على النموذج الرياضي المشتق – المرن المتناظر والمعتمد على نظرية المرونة للمواد غير المتساوية الخواص في جميع الاتجاهات **Anisotropic material** وبثلاثة أبعاد . واستخدمت طريقة العناصر المحددة كطريقة عددية وتم اعتماد العنصر المثلث **triangular element** كأساس للتحليل وبدرجتين للحرية لكل عقدة **node** لحساب الإزاحة . فضلا 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)** [٥] .

وفي عام ٢٠٠٢ قامت **Haneen** بدراسة تحليل الآلية الدقيقة لمواد مقواة باللياف 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 [٧] .

وقام كل من **Rami و Rani** في عام ٢٠٠٢ بدراسة فحص التصدع والتحليل المجهرى للمواد المجهد ، وقد وجدوا بان النموذج المجهرى غير الخطي وبثلاثة ابعاد للمواد المركبة المجهد يستخدم لتحليل التصدع الموازي لاتجاه الدوران في المصروفة البوليميرية للمتراكبات المجهد **(Polymeric Matrix Pultruded Composites)** ، وان النموذج المجهرى **(Micro models)** قادر على تقدير السلوك غير الخطي في متراكبات المواد المجهد تحت تأثير الاجهاد (الحمل) الدائر حول التصدع في حالة المحاور المتعددة العامة **(General Multi-axial State)** [٣٤] .

وفي عام ٢٠٠٥ 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)** [٣٥] .

١-٣ : هدف الدراسة **Aim of this Work**

- ١- تقدير قيم طاقة التصدع السطحية لنموذج متراكب ليفي معزز بألياف الكربون وألياف الزجاج .
- ٢- تحديد عملية التقوية لطبيعة الالياف ضمن نموذج المتراكب وتقدير قيمة المتانة النوعية للمتراكب .
- ٣- حساب قيم معامل يونك والكثافة لنموذج المتراكب قيد البحث .
- ٤- تغيير النسب الوزنية للألياف ضمن المتراكب ومعرفة تأثيرها على معامل المرونة والكثافة والمتانة النوعية .
- ٥- إعداد برامج رياضية باستخدام لغة فورتران لتقدير القيم الحسابية قيد البحث .
- ٦- معرفة بعض التطبيقات العملية للمتراكب قيد البحث ولكلا النموذجين .

الفصل الثاني

بعض المفاهيم النظرية

٢ - ١ - بعض الخواص الميكانيكية للمواد المتراكبة :-

٢ - ١ - ١ - الإجهاد Stress

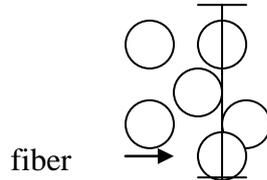
وهو مقياس القوى الداخلية في الجسم ، ويمثل الإجهاد مع الانفعال مفتاح متغيرات تحديد الصلابة والقوة في المواد ، كذلك فان آليات التشوه mechanisms of deformation والفسل يمكن تفسيرها من خلال مصطلحات الإجهاد والانفعال كما لا يوجد مقياس مباشر للإجهاد ، لكنه يشتق من :

١- القوى المسلطة باستخدام تحليل الإجهاد.

٢- قياس الإزاحة باستخدام تحليل الإجهاد .

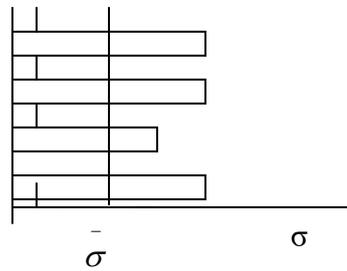
٣- قياس الانفعال باستخدام نسبة الإجهاد - الانفعال.

الشكل (٢-١) يبين نظام النسب بين الاجهادات الموضعية ومعدل الاجهادات

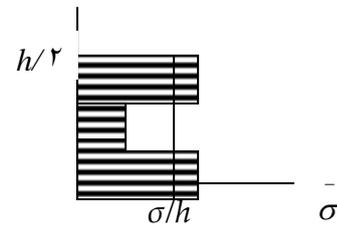


الشكل (٢-١) نظام النسب بين الاجهادات الموضعية ومعدل الاجهادات

في الشكل (٢-٢, a) إجهاد الليف والمصفوفة يختلف من نقطة إلى أخرى . معدل تلك الاجهادات هو إجهاد الطية ply stress . في الشكل (٢-٢, b) كل طية أو كل صف من الطيات يمتلك إجهاد خاص به ، ومعدل اجهادات بعض الطيات يمثل إجهاد الصفيحة أو الإجهاد الناتج σ [١١] .



٢-٢ (a)



٢-٢ (b)

شكل (٢ - ٢) يوضح مستويات معدل الاجهادات

أي بمعنى اخر ، يعرف الاجهاد بانه القوة المؤثرة على وحدة المساحة ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots (1-2)$$

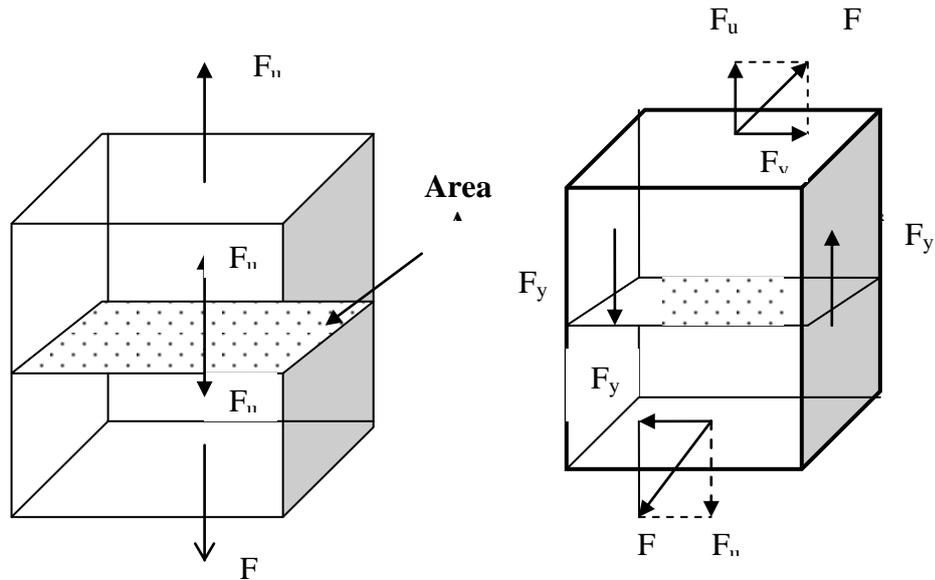
حيث ان σ يمثل الاجهاد المسلط من قبل القوة (F) على وحدة المساحة (A) ويقاس الاجهاد بوحدات نيوتن / متر مربع (N / m²) وهذه الوحدة صغيرة لعدد من التطبيقات العملية لذلك تستخدم وحدة ميكا نيوتن / متر مربع او تسمى بوحدة ميكا باسكال [٣١] .
 فإذا كانت القوة عمودية على وحدة المساحة فان الإجهاد الناتج يدعى إجهاد الشد . وإذا كانت القوة مائلة بزاوية فيمكن تحليل القوة إلى مركبتين ، الأولى عمودية والأخرى موازية ، فالإجهاد الناتج عن المركبة العمودية يدعى إجهاد الشد ، والاجهاد الناتج عن المركبة الموازية يدعى إجهاد القص ، وحسب العلاقات التالية :

$$\text{Tensile - stress } (\sigma_u) = \frac{F_u}{A} \quad \dots (2-2) \text{ إجهاد الشد}$$

$$\text{Shear - stress } (\tau_y) = \frac{F_y}{A} \quad \dots (3-2) \text{ إجهاد القص}$$

حيث ان σ_u يمثل اجهاد الشد الناتج عن المركبة العمودية
 τ_y يمثل اجهاد القص الناتج عن المركبة الموازية

حيث يمكن تمثيل هذه التعاريف بالشكل (٣-٢)



اجهاد الشد

$$\sigma = \frac{F_u}{A}$$

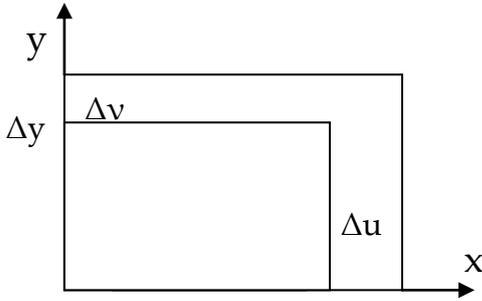
$$\tau_y = \frac{F_y}{A} \quad \text{اجهاد القص}$$

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A} \quad \text{اجهاد الشد}$$

شكل (٣-٢) تعريف الاجهاد τ , σ [٣١].

٢-١-٢ الانفعال (المطاوعة) Strain

هو تغير خاص بالإزاحات special variation displacements . إذا كانت الإزاحات غير متغيرة من نقطة إلى أخرى في الجسم فإنه لا يوجد انفعال وهذا يوجد في حركة الجسم الصلب فقط rigid body motion . ومن خلال تعريف الانفعال strain نستطيع أن نقرر نسبة الإجهاد – الانفعال الثابت في هذه النسبة تعطي صلابة المتراكبات [١١ , ٢٥] .
نفرض إن Δu إزاحة نسبية صغيرة جدا" على طول x-axis ، Δv إزاحة نسبية صغيرة جدا" على طول y – axis كما موضحة في الشكل (٤-٢)



شكل (٤-٢) نسب الانفعال العمودي (normal strain) والإزاحة (displacement)

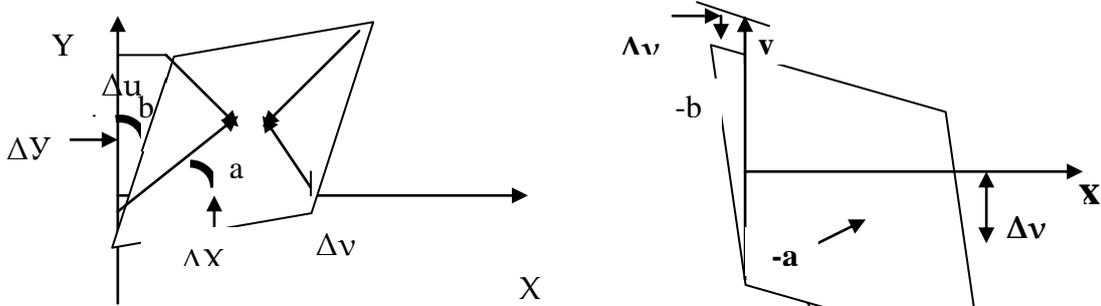
من الشكل (٤-٢) نستطيع أن نجد :-

$$\epsilon_x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{\partial u}{\partial x}$$

$$\epsilon_y = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta y} = \frac{\partial v}{\partial y} \quad \dots (٤-٢)$$

التفاضل الجزئي يستخدم عندما تكون الإزاحات على كلا محوري x , y دالة للانفعال ، ويكون الإجهاد بشكل مشابه لذلك ، حيث إن الإجهاد يكون احتمالية موضعية. بصورة عامة يوجد اختلاف من نقطة إلى أخرى في المادة ، فقط في الحالات الخاصة التي يكون فيها الإجهاد والانفعال متناسقين ويطلق على ذلك الإجهاد أو الانفعال المتجانس homogenous stress or strain ، والحالة الخاصة ملائمة لفحص تحديد الاحتمالية عندما نحاول تكوين نموذج متجانس الإجهاد أو الانفعال بدقة [١١] .

الشكل (٥-٢) يوضح الفعل المشترك الحاصل من نفس الإزاحات الناتجة من مركبات الانفعال العمودي normal strain component في معادلة (٦-٢) :



شكل (٥-٢ , a - b) نسبة الانفعال (relation) لانفعال

(الأسهم تشير إلى التمدد stretching ، والانضغاط compressing للخطوط القطرية المائلة diagonals) ، انفعال القص الناتج موجب في (a) وسالب في (b) .

$$\epsilon_s = a + b \quad \dots (٥-٢)$$

حيث

$$a = \tan a \approx \frac{\partial v}{\partial x}$$

$$b = \tan b \approx \frac{\partial u}{\partial y}$$

نسبة الإزاحة - الانفعال الناتجة هي :-

ϵ_s

$$\dots (٦-٢) \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$$

=

هذا هو انفعال القص الهندسي engineering shear strain . ويستخدم لأنه مقياس للتغير الكلي في زوايا التشوه total change in angles، أو الزوايا الكلية للتشوه deformation عندما يكون القضيبي تحت تأثير الالتواء [٢٦,١١] .

أي بمعنى آخر تستجيب المواد للاجهاد بالانفعال ، وتحت اجهاد معين فالمادة القاسية مثل الفولاذ تتفعل قليلا فقط اما المادة الرخوة مثل البولي ايثيلين فتتفعل اكثر بكثير ، ومعامل مرونة المادة يصف هذه الخاصية [٣١] ، حيث ان اجهاد الشد يولد انفعال الشد وكما مبين في الشكل (٦-٢) (٢) فاذا اتسع المكعب المجهد الذي طول ضلعه (L) بمقدار (u) بموازاة اجهاد الشد فيعرف انفعال الشد الاسمي بالآتي :-

$$\epsilon = \frac{u}{L} \dots (٧-٢)$$

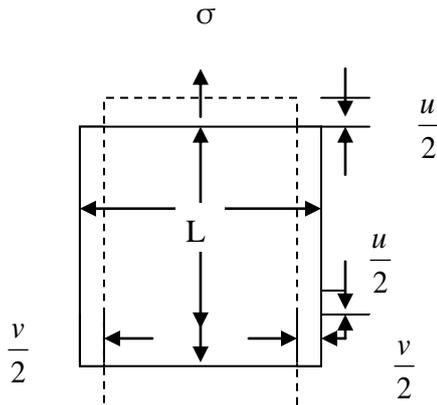
رابط بين معامل يونك حسب قانون هوك ، حيث يمكن حساب قيمة الانفعال من المعادلة التالية :

$$\epsilon_f = \frac{\sigma_u}{E_f} \dots (٨-٢)$$

اما اجهاد القص فيولد انفعال قص فاذا قص مكعب ما جانبيا بمقدار (W) عندها يعرف انفعال القص ب :-

$$\alpha = \epsilon_s = \frac{W}{L} \approx \tan \theta \dots (٩-٢)$$

حيث ان θ هي زاوية القص ، وبما ان الانفعالات المرنة تكون قليلة جدا فيمكن ان نكتب وبتقريب جيد ان ($\alpha = \theta$) ، وبما ان الانفعال هو النسبة بين طولين لذا فهو خال من الوحدات . [٣١]



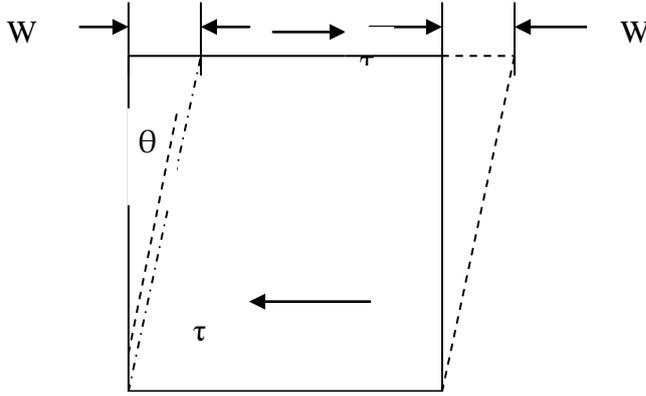
انفعال الشد الاسمي

$$\epsilon = \frac{u}{L}$$

الانفعال الجانبي الاسمي

$$\epsilon_v = \frac{v}{h}$$

= نسبة بواسن v



انفعال القص الهندسي

$$\alpha = \hat{\mathcal{E}}_s = \frac{W}{L} \text{ للزوايا الصغيرة}$$

$$= \theta$$

شكل (٦-٢) تعريف الانفعال α, ϵ [٣١].

١-١-٢ الطاقة السطحية للصدع Fracture Surface Energy

Energy

وهي عبارة عن مجموع الشغل المنجز من قبل الليف على المصفوفة على طول dx من الليف وتعطى بالعلاقة التالية :-

$$\gamma = U_m + U_f \quad \dots (١٠-٢)$$

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 الالياف.

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 [١٥] .

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

$$U_m = \pi D \int_0^{x_0} \tau_y u dx \quad \dots (١١-٢)$$

حيث أن D قطر الليف fiber diameter

τ_y إجهاد القص shear stress

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 :-

$$U_f = \frac{1}{2} \int_0^{x_0} F \varepsilon_f dx \quad \dots (12-2)$$

حيث أن F هي القوة المتحولة 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 الطاقة السطحية للتصدع fracture surface energy . ولغرض إيجاد العلاقة بين الطاقة السطحية للتصدع وقطر الليف (D) وإجهاد الشد σ_u ومعامل يونك للليف E_f ؛ ان الإجهاد المتحول من الليف إلى المصفوفة سوف ينتج عنه نقصان قوة الليف مع المسافة من الشق أي أن :-

$$\frac{dF}{dx} = -\pi D \tau_y \quad \dots (13-2)$$

حيث أن dF هي قوة الليف .

فإذا قيد الليف بواسطة نقصان قطره فان انفعال الليف سوف يعطى بالعلاقة التالية [١٤] :-

$$\varepsilon_f = \frac{4F(1+\nu_f)(1-2\nu_f)}{\pi D^2 E_f (1-\nu_f)} = \frac{4F}{\pi D^2 E_{fr}} \quad \dots (14-2)$$

حيث إن :-

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

كذلك :-

$$\frac{d\varepsilon_f}{dx} = \frac{-4\tau_y}{D E_{fr}} \quad \dots (15-2)$$

وبتكامل المعادلة (١٥-٢) عند شرط الحد boundary condition [$\varepsilon_f = \sigma_u / E_{fr}$] ، عندما $x = 0$ فان الإجهاد المنتقل على مسافة مقدارها x_0 تعطى بالعلاقة التالية :-

$$x_0 = \frac{D\sigma_u}{4\tau_y} \quad \dots (16-2)$$

وعندما $x < x_0$ فان :-

$$\varepsilon_f = \frac{4\tau_y}{DE_{fr}} (x_0 - x) \quad \dots (17-2)$$

وبافتراض أن τ_y ثابت لذلك :

$$u = \int_{x_0}^x \varepsilon_f dx \quad \dots (18-2)$$

وللحصول على قيمة كل من U_m و U_f يتم تعويض قيم كل من x_0 و ε_f و u من المعادلات (16-2) و (17-2) و (18-2) في المعادلات (11-2) و (12-2) وبتكامل المعادلات الناتجة نحصل على :-

$$U_m = U_f = \frac{\pi D^3 \sigma_u^3}{96\tau_y E_{fr}} \quad \dots (19-2)$$

وكذلك عندما يشترك عدد n من الألياف لوحدة المساحة فان الطاقة السطحية للتصدع تعطي بالعلاقة التالية :-

$$\gamma_f = n(U_m + U_f) = \frac{n\pi D^3 \sigma_u^3}{48\tau_y E_{fr}} = \frac{PD\sigma_u^3}{12\tau_y E_{fr}} \quad \dots (20-2)$$

$$P = n\pi D^3 / 4 \quad \dots (21-2)$$

حيث أن المعادلة رقم (21-2) هي محتوى الألياف في المترالكب .
أما صلادة التصدع فإنها تساوي :-

$$k = \sigma_c \sqrt{\pi c} \quad \dots (22-2)$$

حيث أن σ_c هو الإجهاد المسلط لغرض حصول الفشل .
 c يمثل نصف طول الشق

وباستخدام معادلة كرفث يمكن حساب قيمة σ_c لشق رقيق في طبقة رقيقة لا نهائية يكون فيه الشد عموديا" على الشق [15]

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{2E_m \gamma_m}{\pi(1 - \nu_m^2)c}} \quad \dots (23-2)$$

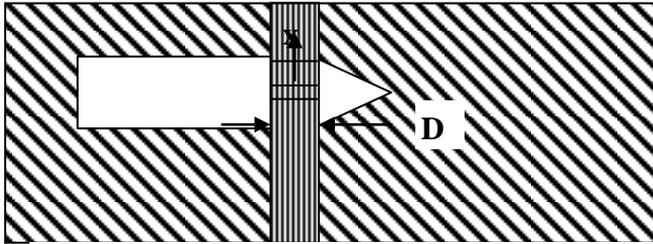
حيث أن E_m هي معامل يونك للمصفوفة
 γ_m الطاقة السطحية للتصدع
 ν_m نسبة بوازن للمصفوفة
 إذن صلادة التصدع للمصفوفة تعطى بالعلاقة التالية :-

$$K_m = \sqrt{\frac{2E_m \gamma_m}{(1-\nu_m^2)}} \quad \dots (24-2)$$

وصلادة التصدع للمترابك تعطى بالعلاقة التالية [١٦] :-

$$K_c = \sqrt{\frac{2E_c}{(1-\nu_c^2)} \left\{ (1-P) \gamma_m + \frac{PD \sigma_u^3}{12\tau_y E_{fr}} \right\}} \quad \dots (25-2)$$

حيث أن E_c معامل يونك للمترابك composite .
 ν_c نسبة بوازن للمترابك Poison's Ratio .
 المعادلات (٢٠-٢) و (٢٤-٢) يمكن تطبيقها لحساب صلادة التصدع Fracture Toughness والطاقة السطحية للتصدع للمترابك فقط في حالة أن يكون تحول الإجهاد المرن بالقرب من الشقوق إلى جسر الألياف صغير مقارنة بالإجهاد المنتقل بواسطة الأنسياب اللدن عند الوجه الداخلي بين المصفوفة والألياف . والشكل رقم (٧-٢) يوضح ليف بالقرب من حافة الشق :



شكل رقم (٧-٢) يوضح ليف بالقرب من قمة شق [١٥]

٢-٢ تأثير انتقال الإجهاد المرن

Effect of Elastic Stress Transfer

إجهاد الليف الناشئ من تحول الإجهاد المرن elastic stress transfer بين الليف والمصفوفة للألياف الطويلة جدا" يعطى بالعلاقة التالية [١٥] :-

$$c_c = \tau_y \sqrt{\frac{2E_{fr}}{G}} \log (3.36/P) \quad \dots (26-2)$$

حيث σ_c هو الإجهاد المطبق على الليف لغرض حصول الفشل .

G هو معامل الصلابة للمصفوفة

E_{fr} يمثل معامل يونك لليف المقيد Young's modulus of restraint fiber

P يمثل محتوى الألياف في المترابك content of fiber in composite

فإذا افترضنا أن إجهاد الشد tension stress هو σ_u فإن نسبة إجهاد الفشل σ_c إلى إجهاد الشد

σ_u تعطى بالعلاقة التالية :-

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_u} = \frac{\tau_y}{\sigma_u} \sqrt{\frac{2E_{fr}}{G}} \text{Log}(3.36/P) \quad \dots(27-2)$$

الطاقة الحاصلة من تحول الإجهاد المرن في الليف تعطى بالعلاقة التالية :-

$$U_{fe} = \int_{x_o}^L F dx \quad \dots (28-2)$$

وباستخدام العلاقة التالية للقوة المتحولة على طول الليف :-

$$F = F_o \frac{\sin sh\beta(L-x)}{\sin sh\alpha\beta(L-x_o)}$$

نحصل على :-

$$U_{fe} = \frac{\pi D^3 \tau_y E_{fr}}{8G} \log(2\pi / P\sqrt{3}) \quad \dots (29-2)$$

اما بالنسبة الى طاقة المصفوفة فانها تعطى بالعلاقة التالية [١٥] :-

$$U_{me} = \frac{\pi}{2} D^2 \log A/D \int_0^L \frac{\tau^2}{2G} dx = \frac{\pi}{2} D^2 \log(2\pi / P\sqrt{3}) \left\{ \int_0^{x_o} \frac{\tau_y^2}{2G} dx + \int_{x_o}^L \frac{\tau^2}{2G} dx \right\} \quad \dots (30-2)$$

وباستخدام العلاقة التالية للمتغير τ نحصل على معادلة (٣٢-٢) التي تمثل طاقة المصفوفة :-

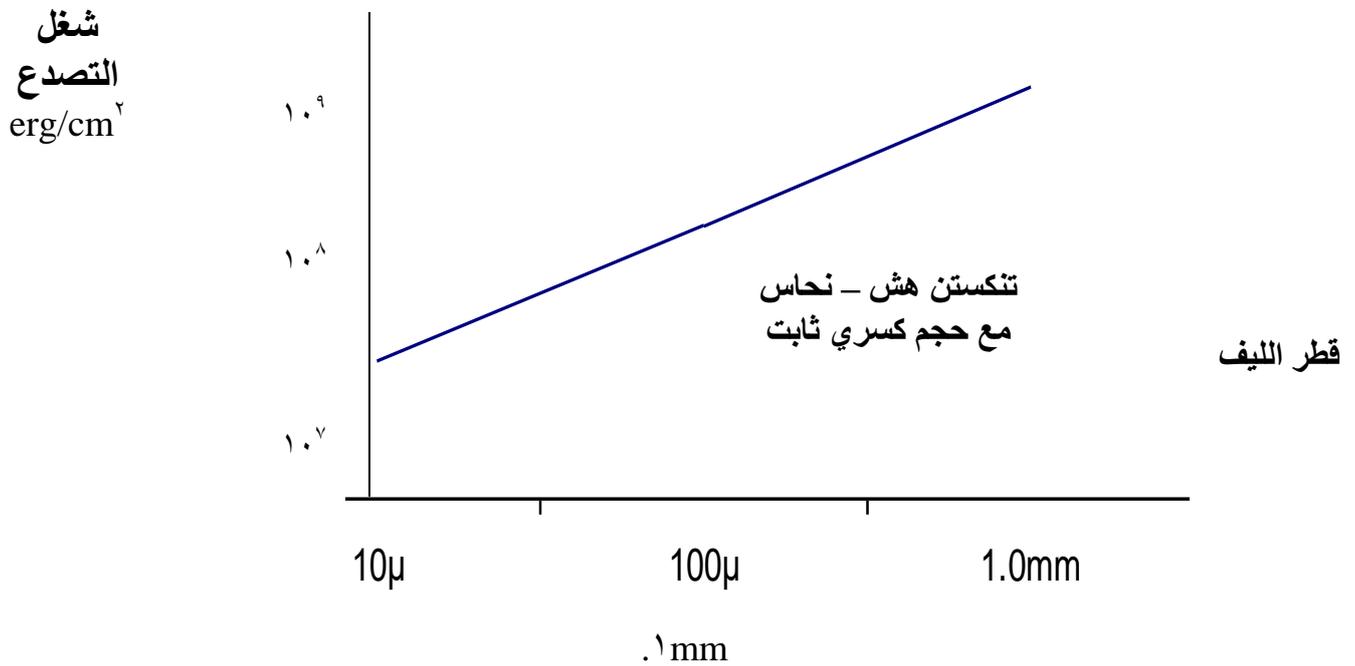
$$\tau = \frac{\beta F_o}{\pi D} \frac{\cosh \beta(L-x)}{\sin sh\beta(L-x_o)} \quad \dots (31-2)$$

$$U_{me} \left\{ \tau_y \sqrt{\frac{E_{fr} \log(2\pi / P\sqrt{3})}{2G}} + \sigma_u \right\} \frac{\pi D^3 \tau_y \log(2\pi / P\sqrt{3})}{16G} = \left\{ \tau_y \frac{\log(2\pi / P\sqrt{3})}{2G E_{fr}} + \frac{\sigma_u}{E_{fr}} \right\} \dots (32-2)$$

٣-٢ تأثير قطر الألياف على صلادة التصدع والطاقة السطحية للتصدع Effect of Fiber Diameter on Fracture Toughness and Fracture Surface Energy

لمعرفة تأثير قطر الليف على صلادة التصدع fracture toughness أو شغل التصدع work of fracture أجريت العديد من الدراسات والبحوث وقد وجد انه بزيادة قطر الليف تزداد صلادة التصدع وحسب المعادلة رقم (٢٥-٢) المذكورة سابقا .

وكما في الشكل رقم (٨-٢):-



شكل رقم (٨-٢) شغل التصدع لسبيكة vacuum-cast متراكبة نحس - سستن مع حجم كسري ثابت لليف و بأقطار ليف مختلفة [١٤] .

حيث نلاحظ من الشكل السابق انه بنقصان قطر الليف من ١mm إلى ٤٠ μ فإنه يؤدي إلى نقصان شغل التصدع من ١٠^٨ erg/cm^٢ إلى ١٠^٧ erg/cm^٢ حيث إن شغل التصدع يساوي ١٠^٧ erg/cm^٢ أو (٤.٨ft-Ib/in^٢) لقيم أقطار ليف اقل من ٢٠ μ [١٤] .

أما تأثير قطر الألياف على الطاقة السطحية للتصدع فيمكن معرفته من خلال العلاقة رقم (٢-٢٠) حيث بزيادة قطر الليف تزداد الطاقة السطحية للتصدع .

٤-٢ تأثير محتوى الألياف على صلادة التصدع والطاقة السطحية للتصدع Effect of Fiber Contents on Fracture Toughness and Fracture Surface Energy

إن زيادة محتوى الألياف في المترابكة يؤدي إلى زيادة الطاقة السطحية للتصدع وذلك لان كل ليف عندما يقطع بواسطة الشق crack يساهم بكمية معينة من الطاقة مقدارها $U_m + U_f$ لغرض حصول التصدع وحسب المعادلات رقم (٢-١٩) و (٢-٢٠) .
أما تأثير محتوى الألياف على صلادة التصدع فيمكن ملاحظته من خلال المعادلة رقم (٢-٢٥) حيث بزيادة محتوى الألياف P في المترابكة يؤدي إلى زيادة قيمة شغل التصدع أو صلادة التصدع fracture toughness (K_c) للمترابكة [١٤] .

٥-٢ تأثير متانة الألياف على صلادة التصدع و الطاقة السطحية للتصدع

Effect of Fiber Strength on Fracture Toughness and Fracture Surface Energy

لقد أجريت العديد من الدراسات والبحوث لغرض معرفة تأثير متانة الألياف strength of fibers على الطاقة السطحية للتصدع fracture surface energy و صلادة التصدع للمترابك fracture toughness , حيث وجد أنه بزيادة متانة الألياف فانه يؤدي إلى زيادة الطاقة السطحية للتصدع وكذلك زيادة صلادة التصدع للمترابك [٢٧] . فمثلا" تم إجراء عدد من الفحوصات على نظام الكرافيت all – graphite system و تم أجريت الفحوصات على نظام مترابك الكرافيت – زجاج glass – graphite composite system والجدول رقم (٢-١) يبين فحوصات خواص المتانة ومعاملات المرونة لنظامي الكرافيت all – graphite system والكرافيت – زجاج glass – graphite composite system في كلا الحالتين (uniwoven) و (biwoven) ، وتمت هذه الفحوصات باستخدام مادة الابوكسي epoxy كمادة لاصقة وهو من الراتنجات المطاوعة للحرارة Thermosetting resins [٢٧, ٢٨] .

جدول رقم (٢-١) : الخواص الميكانيكية لكلا الحالتين Uniwoven و Biwoven للكرافيت وخليط الكرافيت - زجاج .

[٢٧] . (١ksi = ٦.٨٩ Mpa ; ١Msi= ٦.٨٩ GPa)

الخواص	Uniwoven			Biwoven		
	كرافيت	كرافيت- زجاج		كرافيت	كرافيت- زجاج	
	RTD	RTD	٢٥٠W	RTD	RTD	٢٥٠W
تقدير المتانة UTS ksi	٢٠٧.٤	٢١٨.٨	١٧٧.٢	٩٩.٠	٨٦.٠	٨٢.٧
S_L^{tu}						
S_T^{tu}	١١.١	١٣.٣	٧.١	٨٨.٢	-	-
S_L^{cu}	-	١٩٢.٤	١٠٤.٧	١١.٦	٧٩.٣	٣٩.٦
تقدير الانفعال						
$\mathcal{E}_L^{tu} \%$	٠.٩٥٤	١.٠٤٩	٠.٩٢٠	٠.٩٥٣	٠.٨١٩	-
$\mathcal{E}_T^{tu} \%$	٠.٦٧٤	٠.٧٢١	١.٤٤٦	٠.٩٢٦	-	-
$\mathcal{E}_L^{cu} \%$	-	١.١٧٧	٠.٥٠٣	١.٢٣٤	٠.٨٩٠	٠.٣٥٦
معامل المرونة						
E_L^t, msi	٢٠.٥	١٩.٦	١٨.٦	١٠.١	١٠.٠	٩.٥
E_T^t, msi	١.٦٥	١.٩٤	٠.٦٣	٩.٣	-	-
E_L^c, msi	-	١٨.٢	١٩.٧	١٠.١	١١.٢	١٢.٦
U_{LT}	٠.٢٧٦	٠.٢٣٥	٠.٤٧٠	٠.٠٥٥	٠.٠٥٠	٠.٠٩٥
السمك الاسمي in.	٠.٠٠٧	٠.٠٠٧	٠.٠٠٧	٠.٠١٤	٠.٠١٤	٠.٠١٤

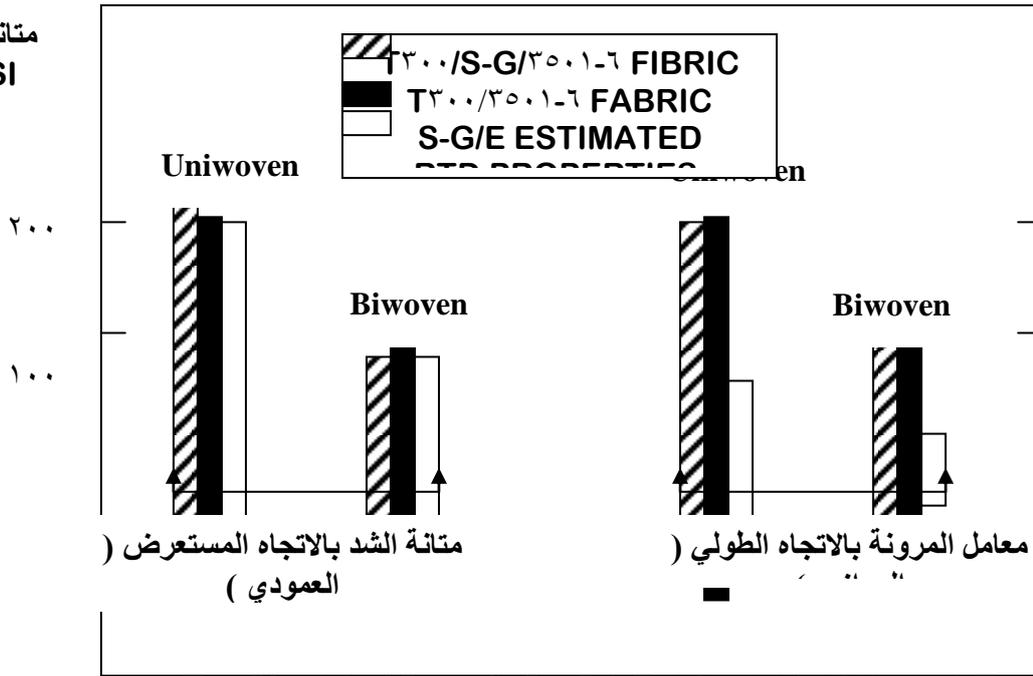
خواص خليط المواد بنيت على اساس معدل ثلاثة نماذج ، قيم المقاومة ، ومعامل يونك بنيت على اساس السمك الاسمي للطية .

T يمثل الاتجاه العمودي ، L يمثل الاتجاه الطولي (الموازي)

في الجدول رقم (٢-١) جميع الحسابات لقيم الفحص بنيت على اساس السمك الاسمي أو الظاهري للصفحة (nominal laminate thickness) لمعرفة اقل تأثير لاختلاف سمك الصفحة على قيم إجهاد الفحص. وقد وضحت نتائج فحص متانة الشد tensile strength ومعاملات المرونة بواسطة الشكل رقم (٢-٩) :

متانة الشد
, KSI

معاملات
المرونة, MSI



شكل ر
الابو/

. [27] ، (graphite – glass / epoxy)

النتائج تشير إلى أن خواص مركبات الخليط مساوية تقريباً إلى خواص مكونات مركبات الكرافيت الأساسية ، بينما حسب قاعدة الخلط للتقدير تشير إلى أن خواص مركب الخليط hybrid composite properties أقل من خواص مركبات مكونات الكرافيت بحوالي (٧%) . [27] (

mechanical أما الجدول رقم (٢-٢) فإنه يبين معدل الخواص الميكانيكية وخواص التصدع and fracture properties للكرافيت و graphite وخليط صفائح الكرافيت - زجاج graphite- glass hybrid laminates

جدول رقم (٢-٢) :- الخواص الميكانيكية وخواص التصدع للكرافيت و graphite وخليط صفائح الكرافيت - زجاج graphite- glass hybrid laminates . [27] (1ksi = 6.89 Mpa; 1msi = 6.89 Gpa; 1ksi√in = 10.98 Mpa √cm)

الخواص ^(١)	نوع الفحص	صفائح الكرافيت ^(٢)	صفائح خليط الكرافيت - زجاج ^(٣)			
			قشرة الزجاج المانلة		قشرة الزجاج المنفصلة	
			RTD	٢٥٠.W	RTD	٢٥٠.W
تقدير المتانة						
F^{tu}, ksi	°T	١٣٢	١٣٢	١١٤	١٢٦	١١١
F^{cu}, ksi	°C	١١٧	١٣٠	٥٦	-	-

تقدير الانفعال						
$\epsilon^{tu}, \%$	$^{\circ}\text{T}$	٠.٩٨٨	٠.٩٩٢	٠.٩٢٦	١.٠٠٩	٠.٩٩٣
$\epsilon^{cu}, \%$	$^{\circ}\text{C}$	٠.٩٦٥	١.١٤٩	٠.٤٥٣	-	-
معاملات المرونة (يونك)						
E^t, msi	$^{\circ}\text{T}$	١٢.٩	١٣.٣	١٣.٠	١٢.٤	١١.٩
E^c, msi	$^{\circ}\text{C}$	١١.٩	١٢.٣	١٣.١	-	-
ν	$^{\circ}\text{T,C}$	٠.٢٧	٠.٢٨	٠.٣٧	٠.٠٣	٠.٤٤
متغيرات التصدع						
$F^t (0.385\text{in.slot}), \text{ksi}$	$^{\circ}\text{T}$	٦٦	٨٥	٨١	٧٧	٨٠
$K, \text{ksi}\sqrt{\text{in}}$		٦٠.٦	٨٧.٥	٨٩.٢	٧٤.٩	٨٩.٣
$K / E, \sqrt{\text{in}} \times 10^{-3}$		٤.٧٠	٦.٥٨	٦.٦٨	٦.٠٤	٧.٥٠
a, in		٠.٠٦٧	٠.١٤٠	٠.١٩٥	٠.١١٣	٠.٢٠٦

(١) - خواص خليط المواد بنيت على اساس معدل ثلاث نماذج ، قيم المقاومة ، ومعامل يونك بنيت على اساس السمك الاسمي للظية K صلادة التصدع ، a طول الانسياب ، السمك الاسمي = ٠.١١٢ in.

s laminate , (0₃/45/0/0)_s (٢) ١٢- ply

laminate. (45/0₂/0/0₂)_s (٣) ١٢- ply

في الجدول رقم (٢-٢) متغيرات التصدع حسب من قيم متانة الصفائح المتصدعة notch laminate strength باستخدام ميكانيكية التصدع المرن الخطي Linear Elastic Fracture Mechanics (LEFM) .

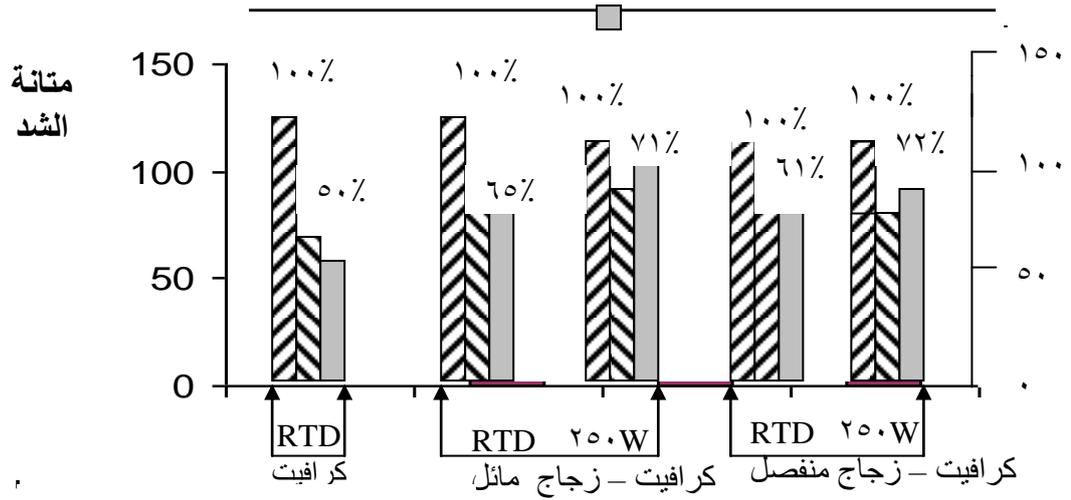
والشكل رقم (٢-١٠) يبين خواص متانة الشد tensile strength و صلادة التصدع للكرافيت وخليط الصفائح :-

١٢-PLY (45/0₂/0/0₂)_s

T_{NOMINAL} = ٠.١١٢ IN.

STRENGTH WITHOUT
SLOT

صلادة
التصدع
K, ksi√in.



شكل رقم (٢-١٠) المتانة وصلادة التصدع لمتراكبات الكرافيت وخليط الصفائح [٢٧]

من هذه النتائج نلاحظ أن متانة صفيحة RTD غير المتصدعة للكرافيت وخليط المتراكبات تقريبا" متساوية . بينما متانة صفيحة RTD المتصدعة لخليط المتراكبات hybrid composites تقريبا" ٢٩.١٧% اكبر من متراكب الكرافيت للصفائح القشرية المائلة discrete والمنفصلة staggered.

وقد أثبتت النتائج أيضا" إن خواص التصدع لليف الواطئ الهشاشية نسبيا" relatively low brittle fiber لصفائح الكرافيت ممكن أن تتحسن بواسطة إضافة الزجاج أو الكفلر Kevlar اللذين يمتلكان معاملات صلابة ومتانة واطئة [٢٧, ٢٩].

والجدول رقم (٢-٣) يبين بعض القيم النموذجية لبعض الخواص الميكانيكية للألياف typical fibers mechanical properties [٧, ٨, ١١] :-
والجدول رقم (٢-٤) يبين بعض الخواص الميكانيكية لبنية المواد واللياف التقوية ، [٣٢].

جدول رقم (٢-٣): بعض القيم النموذجية لبعض الخواص الميكانيكية للألياف [٧, ٨, ١١]

Fiber	Diameter μm	Density g/cm ³	Modulus Gpa	Strength Gpa
-------	----------------	------------------------------	----------------	-----------------

Graphite (T300.AS)	γ	170	230	280
Boron (εnnl)	100	26	ε10	3ε0
Glass (E)	16	26	72	3ε0
Kevlar (ε9)	12	1εε	120	362
Fiber	Density <i>P</i> (Mg/m³)	Tensile Modulus <i>E</i> (Gpa)		Tensile Strength <i>σ_t</i> Mpa
Alumina	3.2	170		2100
Silicon Carbide	2.6	200		2200
Boron	2.60	ε20		3000
Carbon	1.8	200		2700
E- glass	2.0	70		2200
Polyethylene (Spectra 1000)	0.97	172		296ε
Polyamide (Aramid) (Kevlar ε9)	1.ε0	120		3000

جدول رقم (٢-٤) يبين بعض الخواص الميكانيكية للمواد والالياف، [٣٢]

المادة	القيمة المقدرة لاجهاد الشد σ (MPa)	معامل المرونة E (GPa)
Steel	٧٧٠-٢٢٠٠	١٨٠-٢١٠
Aluminum	٢٦٠-٧٠٠	٦٩-٧٢
Titanium	١٠٠٠-١٢٠٠	١١٠
Magnesium	٢٦٠	٤٠
Beryllium	٦٢٠	٣٢٠
Nickel	٤٠٠-٥٠٠	٢٠٠
Metal wires (diameter, pm)		
Steel (٢٠-١٥٠٠)	١٥٠٠-٤٤٠٠	١٨٠-٢٠٠
Aluminum (١٥٠)	٢٩٠	٦٩
Titanium (١٠٠-٨٠٠)	١٤٠٠-١٥٠٠	١٢٠
Beryllium (٥٠-٥٠٠)	١١٠٠-١٤٥٠	٢٤٠-٣١٠
Tungsten (٢٠-٥٠)	٣٣٠٠-٤٠٠٠	٤١٠
Thermoset polymeric resins		
Epoxy	٦٠-٩٠	٢.٤-٤.٢
Polyester	٣٠-٧٠	٢.٨-٣.٨
Phenol-formaldehyde	٤٠-٧٠	٧-١١
Organosilicone	٢٥-٥٠	٦.٨-١٠
Polyimide	٥٥-١١٠	٣.٢
Bismaleimide	٨٠	٤.٢
Thermoplastic polymers		
Polyethylene	٢٠-٤٥	٦-٨.٥
Polystyrene	٣٥-٤٥	٣.٠
Teflon	١٥-٣٥	٣.٥
Nylon	٨٠	٢.٨
Polyester (PC)	٦٠	٢.٥
Polysulfone (PSU)	٧٠	٢.٧
Polyamide-imide (PAI)	٩٠-١٩٠	٢.٨-٤.٤
Polyetheretherketone (PEEK)	٩٠-١٠٠	٣.١-٣.٨
Synthetic fibers		
Capron	٦٨٠-٧٨٠	٤.٤
Dacron	٣٩٠-٨٨٠	٤.٩-١٥.٧

المادة	القيمة المقدرة لاجهاد الشد σ (MPa)	معامل المرونة E (GPa)
Polypropilen	٧٣٠-٩٣٠	٤.٤
Visco	٩٣٠	٢٠
Fibers for advanced composites (diameter, μm)		
Glass (٣-١٩)	٣١٠٠-٥٠٠٠	٧٢-٩٥
Quartz (١٠)	٦٠٠٠	٧٤
Basalt (٩-١٣)	٣٠٠٠-٣٥٠٠	٩٠
Aramid (١٢-١٥)	٣٥٠٠-٥٥٠٠	١٤٠-١٨٠
Polyethylene (٢٠-٤٠)	٢٦٠٠-٣٣٠٠	١٢٠-١٧٠
Carbon (٥-١١)		
High-strength	٧٠٠٠	٣٠٠
High-modulus	٢٧٠٠	٨٥٠
Boron (١٠٠-٢٠٠)	٢٥٠٠-٣٧٠٠	٣٩٠-٤٢٠
Alumina - Al_2O_3 (٢٠-٥٠٠)	٢٤٠٠-٤١٠٠	٤٧٠-٥٣٠
Silicon Carbide - Sic (١٠-١٥)	٢٧٠٠	١٨٥
Titanium Carbide -Tic (٢٨٠)	١٥٠٠	٤٥٠
Boron Carbide – B_2C (٥٠)	٢١٠٠-٢٥٠٠	٤٨٠
Boron Nitride - BN (٧)	١٤٠٠	٩٠

والمتانة النوعية للمادة (Specific Strength of the Material) تعرف بالعلاقة التالية [٣٢]:

$$k_{\sigma} = \frac{\bar{\sigma}}{\rho} \quad \dots (٣٣-٢)$$

حيث ان $\bar{\sigma}$ يمثل الاجهاد المسلط = F/ A .
 ρ تمثل كثافة المادة .

حيث بنقصان كثافة المادة تزداد المتانة النوعية لها وتقاس المتانة النوعية بوحدات (متر) [٣٢]

اما كثافة المتراكب فتم قياسها من خلال المعادلة التالية وحسب قاعدة الخلط :

$$\rho_c = \rho_m f_m + \rho_f f_f \quad \dots (٣٤-٢)$$

حيث ان

ρ_c كثافة المتراكب
 ρ_f كثافة مادة التقوية (الليف)
 ρ_m كثافة مادة المصفوفة

f_m تمثل الحجم الكسري للمصفوفة والتي تساوي $(1 - f_f)$
 f_f تمثل الحجم الكسري للليف (محتوى الألياف في المترالكب) والتي تعطى بالعلاقة

$$f_f = \frac{\frac{m_f \%}{\rho_f \%}}{\frac{m_f \%}{\rho_f \%} + \frac{m_m \%}{\rho_m \%}} \quad \dots (٣٥-٢)$$

٢-٦ مشاركة المصفوفة في صلادة التصدع او شغل التصدع والطاقة

السطحية للتصدع

Contribution of The Matrix on The Work of Fracture or Fracture Toughness and Fracture Surface Energy

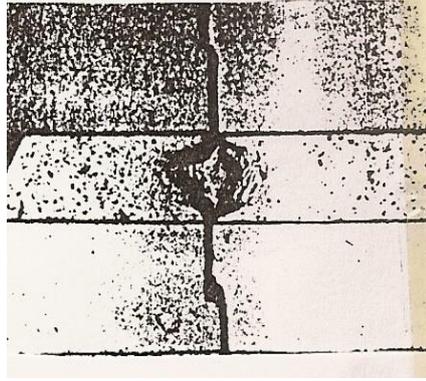
تكون وظيفة المصفوفة في المواد المتراكبة من خلال اسهامها في إيقاف اتساع الشق أو حصول الفشل بواسطة زيادة كمية شغل التصدع. مثلاً في متراكبة النحاس – تنكستن إن وجود مصفوفة النحاس تعمل على إيقاف الفشل الحاصل بواسطة زيادة كمية شغل التصدع [١٤]. التصدع الدوري Periodic fracture لشعيرات التنكستن في المقطع العرضي الواحد سوف ينتج شكل هندسي مشابه للشكل رقم (٢-١١) لغرض انتشار الشق، حيث أن كل التشوه اللدن plastic deformation في النموذج سينحصر في حجم صغير على كلا جانبي التكسر. أما كيفية إيجاد إسهام المصفوفة في شغل التصدع فيمكن إيجاده من المساحة تحت منحنى اتساع الحمل Area Under The Load – Extension Curve، فمثلاً في نماذج مصفوفة النحاس تم فحص نماذج الشد ثم تم تقسيم القيمة العظمى للحمل على مساحة المقطع العرضي لمصفوفة النحاس، وقيم شغل التصدع لوحدة المساحة للمتراكبة وضحت في الجدول رقم (٢-٥) وبدرجات حرارية مختلفة:

جدول رقم (٢-٥) شغل التصدع لتكسر مصفوفة النحاس المقواة بشعيرات التنكستن الهشة والقابلة للطرق [١٤].			
درجة الحرارة.	تقدير متانة التصدع للمصفوفة (Psi)	شغل التصدع	
		(10^8 erg/cm^2)	ft-Ib/in ²
٧٧° k	٣٦,٠٠٠	١.٣٢	٦٣
Room T.	١٦,٧٠٠	٠.٣٦	١٧
Room T.	٢٤.٦٠٠	٠.٥٣	٢٥
٢٥.٠° C	١٥.١٠٠	٠.٤٦	٢٢

حيث إن :

$$K_m = 2xv_m U \quad \dots (٣٦-٢)$$

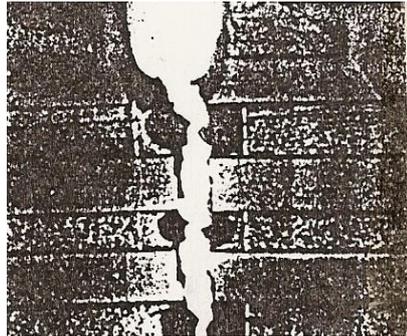
K_m شغل التصدع لوحدة المساحة بسبب التشوه اللدن للمصفوفة فقط وان x تمثل المسافة على كلا جانبي تشقق السطح في القيم فوق حدوث اتساع الانسياب اللدن للمصفوفة. والتي كانت تساوي 0.43 mm في الشكل (٢-١٢).



شكل رقم (٢-١١) المقطع العرضي لمتراكبة نحاس- تنكستن [١٤].

والشكل رقم (٢-١٢) يوضح التطور الكامل للشق الحاصل من تكسر الليف بالقاعدة القصوى للانفتاح التام للشق وبداية التشقق بالقمة .

$$x = 0.43 \text{ mm}$$



شكل رقم (٢-١٢) متراكبة نحاس تنكستن حصول الفشل وحساب اتساع التشوه اللدن [١٤]

العلاقة رقم (٢-٢٤) ، حيث ان زيادة صلادة التصدع للمصفوفة يؤدي الى زيادة الطاقة السطحية للتصدع للمصفوفة . وهذه العلاقة تطبق على الشق عندما يحدث في رقاقة لا نهائية يكون فيها الشد عموديا" على الشق [١٥] .

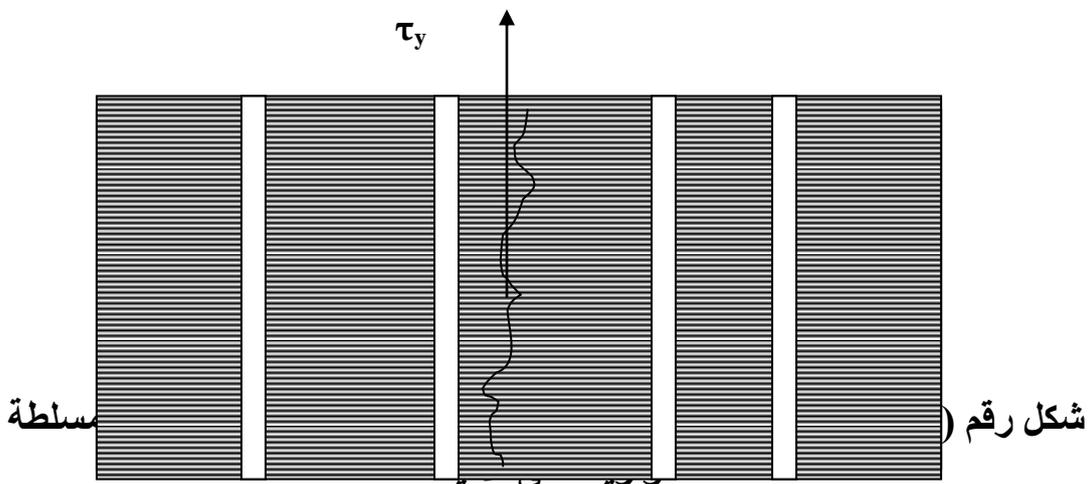
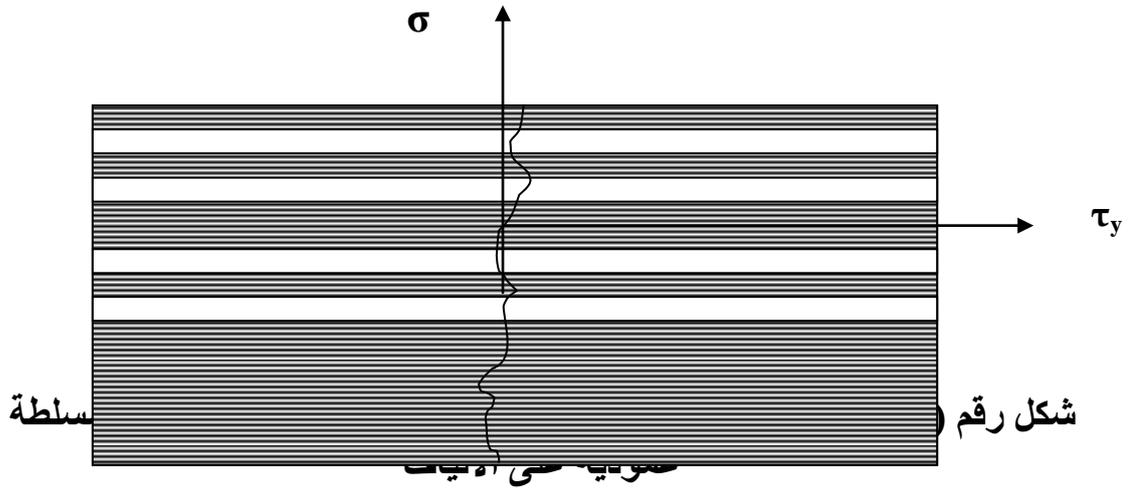
الفصل الثالث

الجزء العملي والبرنامج الرياضي

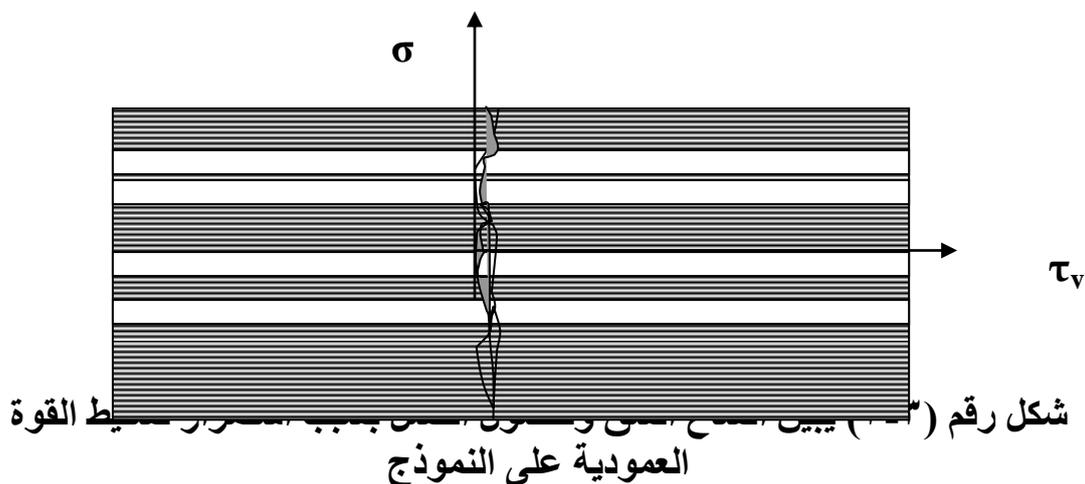
١-٣ مقدمة: -_ INTRODUCTION

في هذا الفصل سوف يتم استعراض الجانب العملي من البحث الذي يتضمن تصميم النموذج ، حيث تم اعتماد النموذج الموضح في الشكل رقم (١-٣) والذي يمثل رقاقة لانهائية تحتوي أربعة ألياف للتقوية منضدة بشكل متوازٍ ، والقوة المسلطة عمودية على الرقاقة مما أدى إلى حدوث شق عمودي على الألياف ، ولغرض المقارنة ، تم اعتماد الشكل رقم (٢-٣) لغرض حساب معامل يونك عندما يكون الاجهاد بصورة موازية للألياف المنضدة بشكل متوازٍ ، حيث تم حساب معامل يونك في هذه الحالة ومقارنته مع معامل يونك عندما يكون الاجهاد مسلط بصورة عمودية على الألياف كما في الشكل (١-٣) .

كما تم استعراض النتائج والمنحنيات التي تم الحصول عليها من الحسابات النظرية وباستخدام لغة فورتران ، كما يتضمن الفصل استعراض للبرامج التي تم تصميمها بلغة فورتران لحساب الطاقة السطحية للتصدع ، ومعامل يونك والكثافة والمتانة النوعية والانفعال للمترابك المقوى بالألياف الزجاج والمترابك المقوى بالألياف الكربون ، وكذلك لكل نوع من الألياف التقوية .



وباستمرار تسليط القوة أدى إلى حدوث الفشل عند الاتساع الكامل للشق وكما موضح في الشكل رقم (٣-٣) .



٢-٣ المواد المفترضة في النموذج المترابك الاختياري

تم افتراض ألياف الكربون وألياف الزجاج كماد لتقوية المصفوفة التي تتكون من مادة البولي اثيلين ، حيث تمتلك ألياف الكربون معامل يونك أعلى من ألياف الزجاج ، كما تمتلك كثافة أوطاً من ألياف الزجاج ، وكذلك تمتلك قطر نموذجي أوطاً من ألياف الزجاج . حسب افتراضات البحث لها .

أما مادة البولي اثيلين المستخدمة في تحضير المصفوفة فإنها تمتلك معامل يونك اوطاً من معامل يونك لألياف الكربون و اوطاً من معامل يونك لألياف الزجاج ، حيث بالرغم من وجود الرابطة التساهمية التي تربط ذرات الكربون على طول السلاسل الطويلة التي يتألف منها البولي اثيلين بسبب توصيلات التقاطع المنتشرة على طول السلسلة وهي روابط جسوءة جداً" الا انها تسهم بدرجة قليلة جداً" في الجساءة بسبب وجود روابط فان در فالز الضعيفة جداً" بين السلاسل ، حيث عندما تحمل البنية فان روابط فان در فالز تتمدد وهكذا يكون معامل المرونة عائداً الى روابط فان در فالز وليس للترابط التساهمي وكثافة المصفوفة اوطاً من كثافة ألياف الزجاج وألياف الكربون بسبب جساءتها القليلة والعائدة الى قلة جساءة الروابط [٦, ٧, ١٠, ٣٢] .

٣-٣ تصميم النموذج :

١-٣-٣ تصميم نماذج حساب الطاقة السطحية للتصدع

تم تصميم النماذج بواسطة إعداد المصفوفة التي تتألف من رقاقة لانهاية من مادة البولي اثيلين ، مستطيلة الشكل كما في الشكلين رقم (٣-١ و ٣-٢) ، ثم تمت التقويه بأربعة ألياف كربون منضدة بشكل متواز ، أما النموذج الثاني فتم إعداده بأبعاد مساوية للنموذج الأول وتمت تقويته بأربعة ألياف من الزجاج وبمواصفات مساوية لمواصفات النموذج الأول .

٢-٣-٣ تصميم نماذج حساب معامل يونك والكثافة

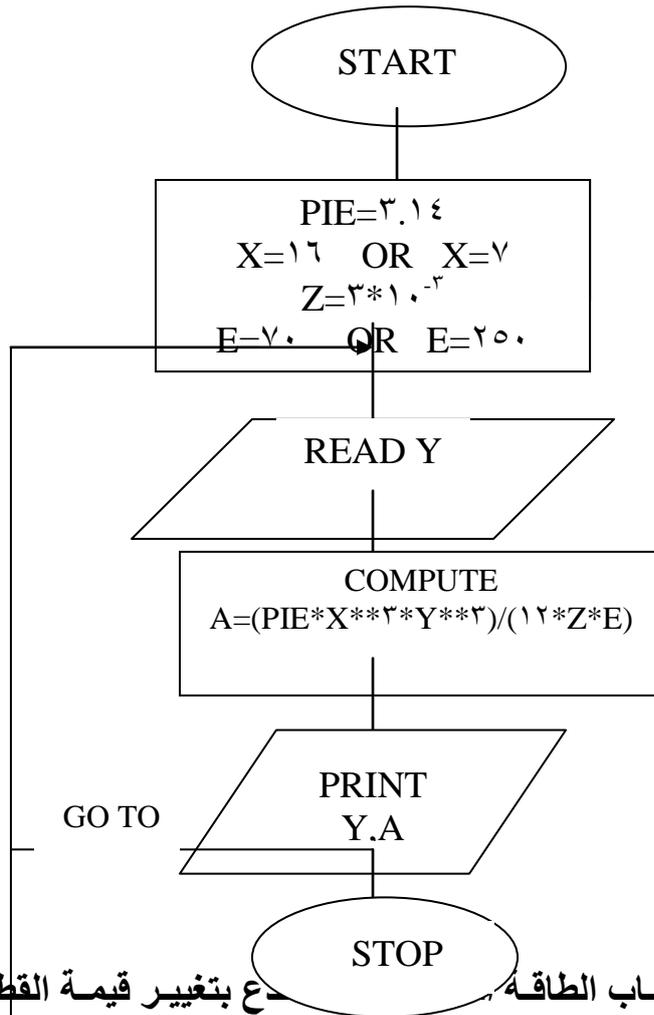
تم تصميم ثلاثة نماذج بواسطة إعداد المصفوفة التي تتألف من رقاقة لانهاية من مادة البولي اثيلين ، مستطيلة الشكل كما في الشكلين رقم (٣-١ و ٣-٢) ، ثم تمت التقويه بنسبة وزنية من

ألياف الكربون المنضدة بشكل متوازٍ وبثلاث مقادير (٧٠٪ , ٥٠٪ , ٣٠٪) ، أما بالنسبة للبولي اثيلين المقوى بألياف الزجاج فتم اعداد ثلاثة نماذج وبمواصفات مساوية لمواصفات النموذج المقوى بألياف الكربون ، وتمت تقويته بنسبة وزنية من ألياف الزجاج المنضدة بشكل متوازٍ وبنفس المقادير .

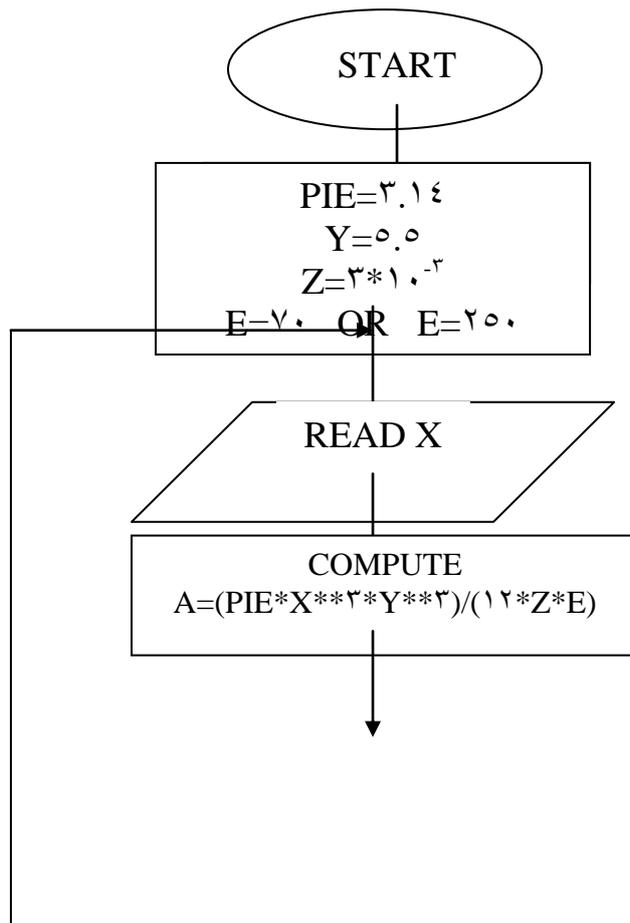
٣-٤ إعداد البرنامج

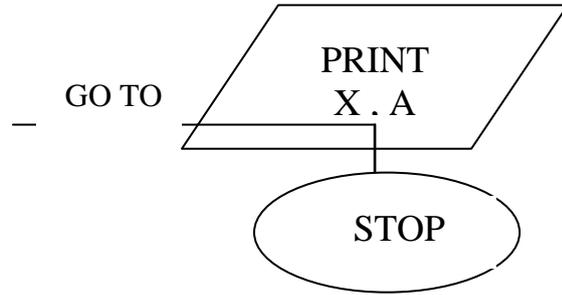
تم اعتماد لغة فورتران لإعداد البرامج المستخدمة في الحسابات النظرية للطاقة السطحية للتصدع لكلا النموذجين وتحت ظروف مختلفة ، ومعامل يونك والكثافة والمتانة النوعية والانفعال للمتراكب المقوى بألياف الزجاج والمتراكب المقوى بألياف الكربون ، وكذلك لكل نوع من الياف التقوية ، وكما يلي :

٣-٤-١ برنامج حساب الطاقة السطحية للتصدع بتغيير قيمة الإجهاد المسلط
($\sigma_u=Y$) وثبوت قطر الليف ($D=X$) ومعامل يونك ($E_f=E$) وإجهاد القص
($\tau_y=Z$) ومحتوى الألياف (٤ ألياف) :

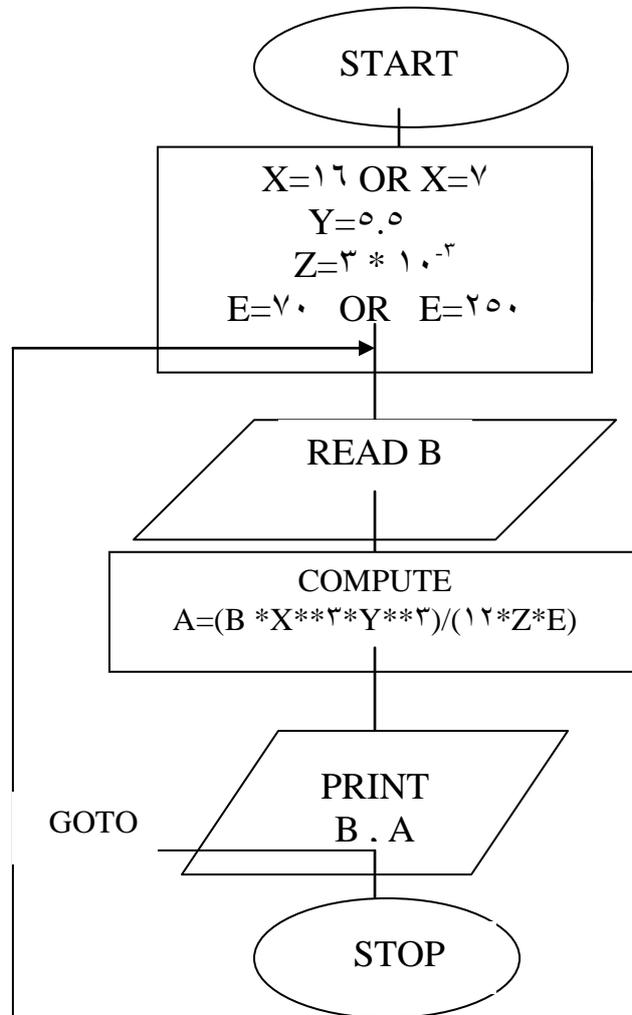


٢-٤-٣ برنامج حساب الطاقة مع بتغيير قيمة القطر وثبوت الإجهاد المسلط ومعامل يونك وإجهاد القص ومحتوى الألياف (٤ ألياف)

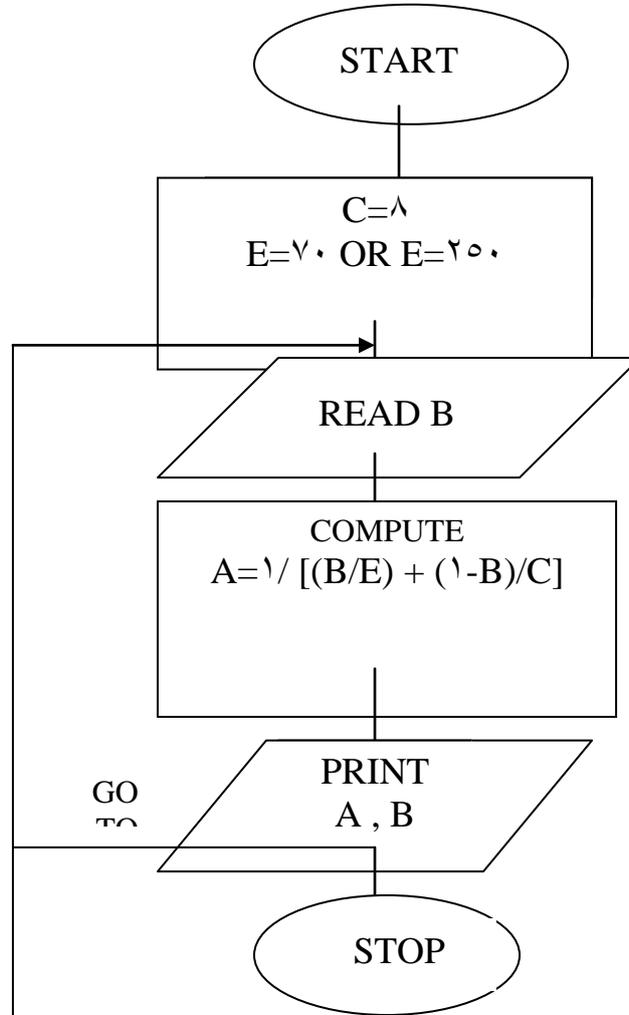




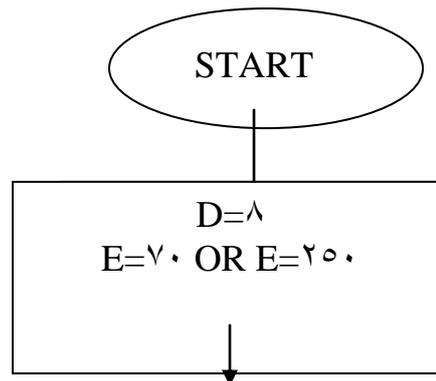
٣-٤-٣ برنامج حساب الطاقة السطحية للتصدع بتغيير قيمة محتوى الألياف (P=B) وثبوت الإجهاد المسلط ومعامل يونك وإجهاد القص وقطر الألياف:

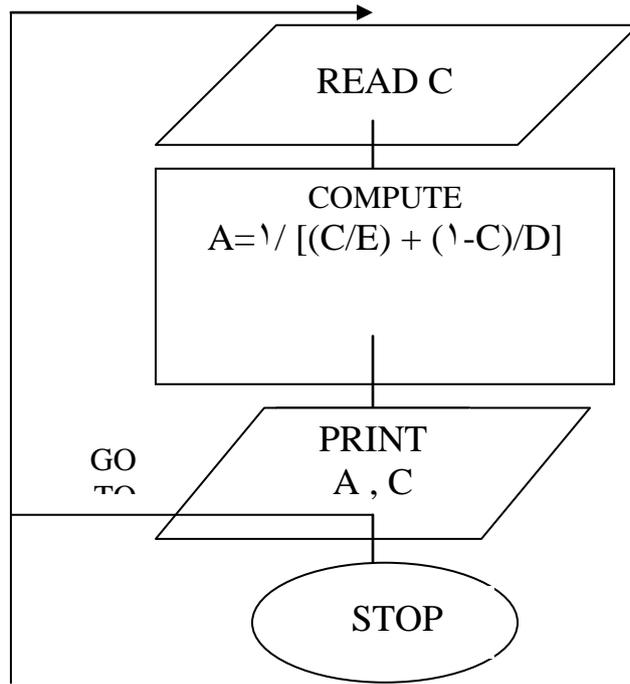


٣-٤-٤ برنامج حساب معامل يونك للمترابك ($E_c=A$) باستخدام قاعدة الخلط بثبوت قيمة القطر ($D=7\mu m$ أو $D=16\mu m$) ومحتوى الألياف ($n=4$) حيث ($B=\pi D^2$) وثبوت معامل يونك لكل من ليف التقوية ($E_f=E$) ومادة المصفوفة ($E_m=C$):

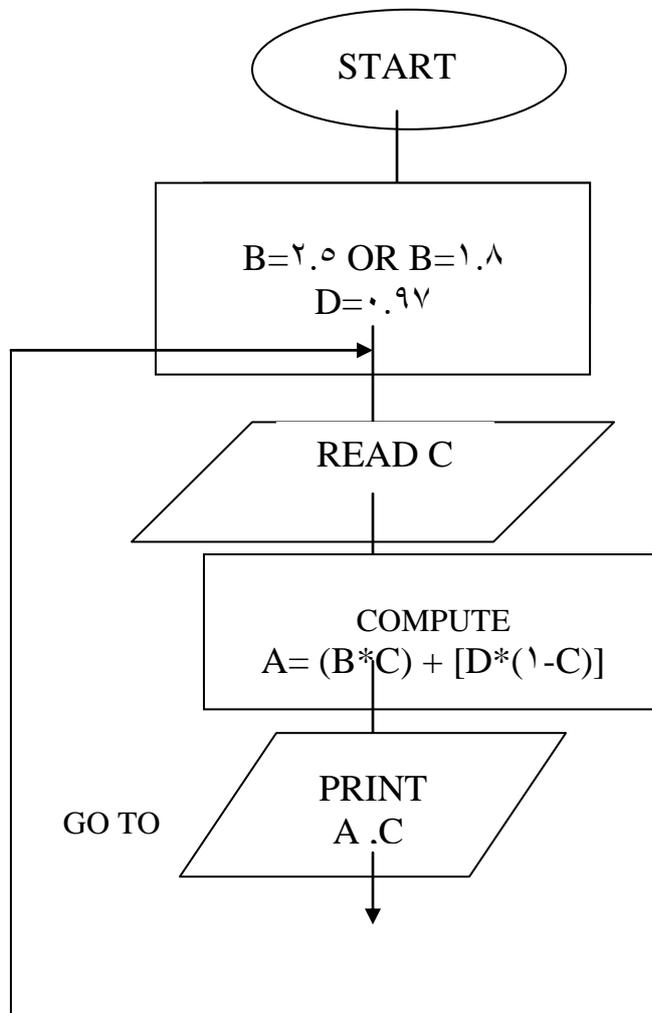


٣-٤-٥ برنامج حساب معامل يونك للمترابك ($E_c=A$) باستخدام قاعدة الخلط بتغيير محتوى الألياف (النسبة الوزنية للألياف $f=C$)



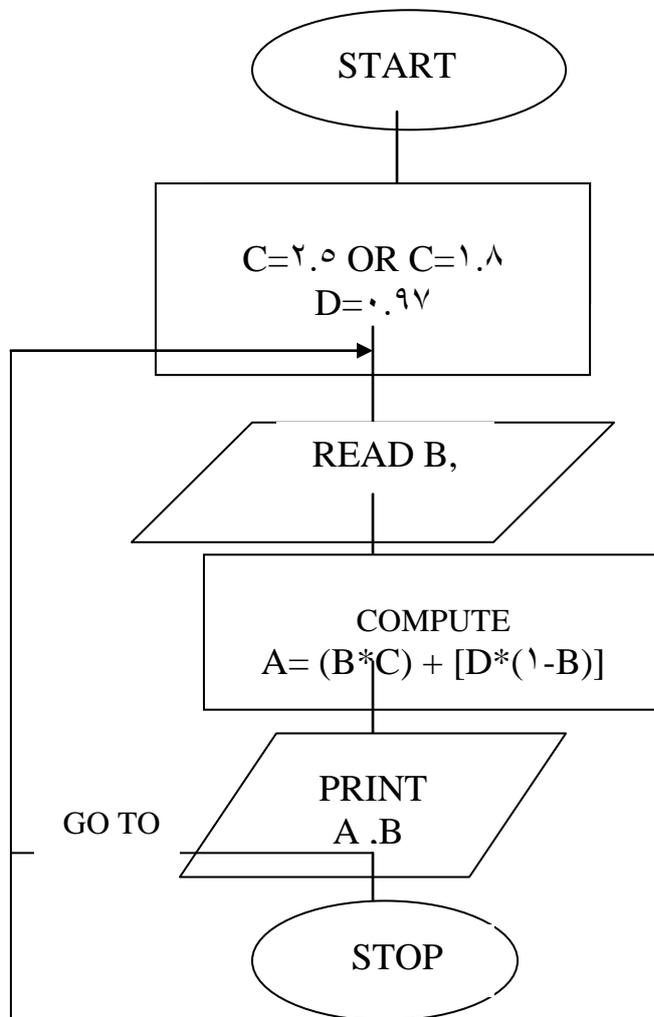


٦-٤-٣ برنامج حساب كثافة المترابك باستخدام قاعدة الخلط
 Rule of Mixture بثبوت كثافة كل من ليف التقوية ومادة المصفوفة:

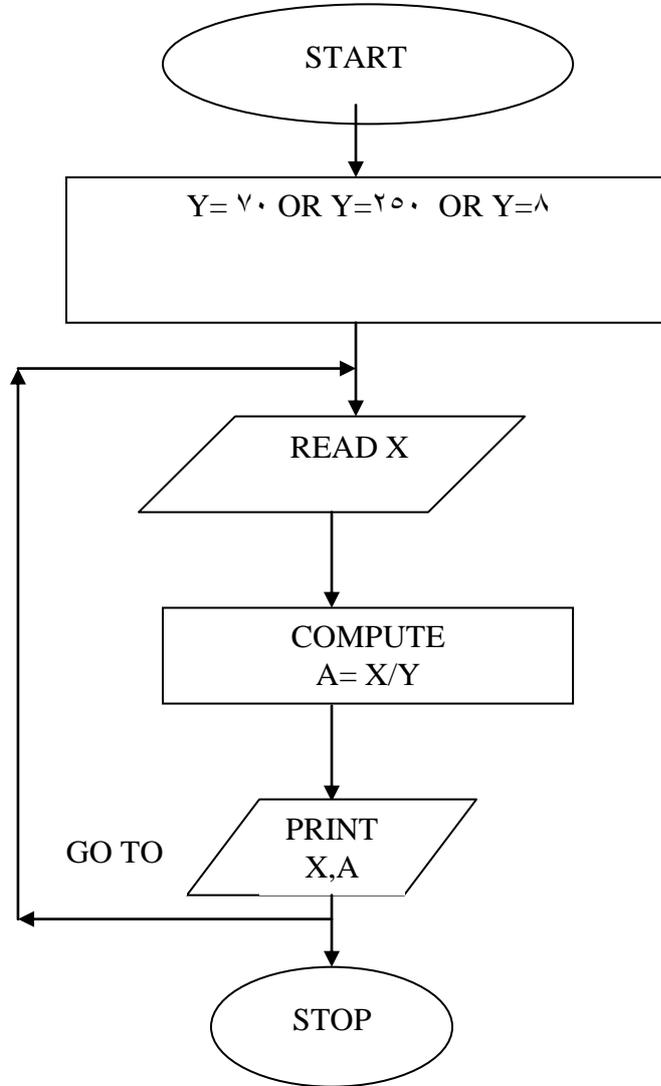




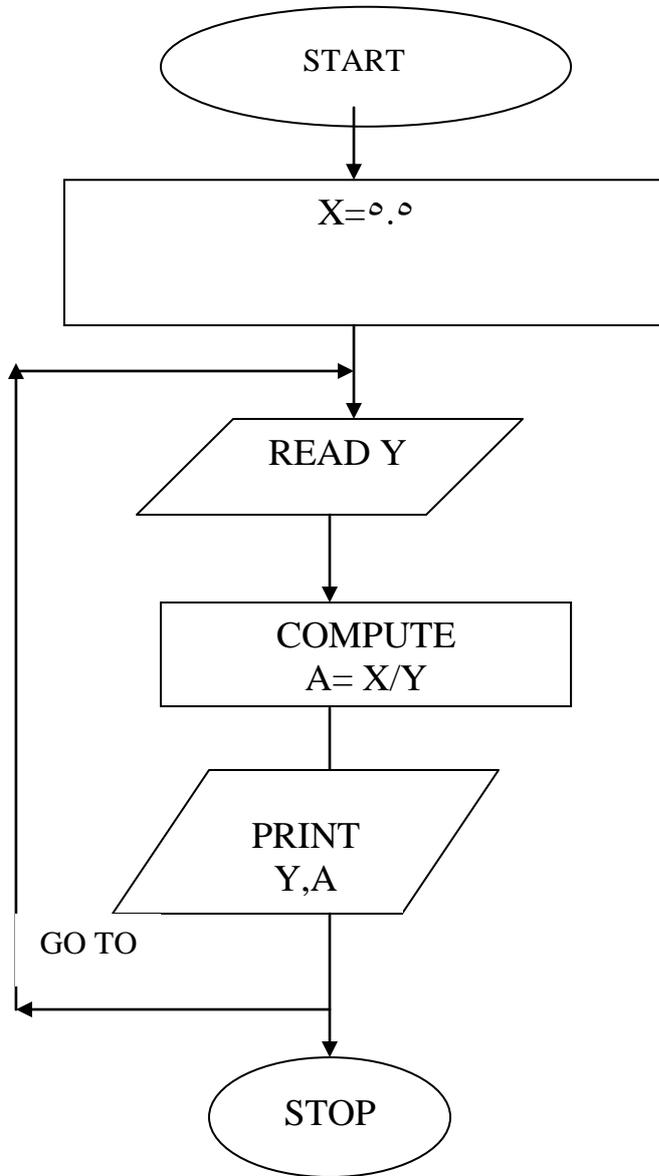
٧-٤-٣ برنامج حساب كثافة المتراكب باستخدام قاعدة الخلط
Mixture بثبوت كثافة كل من ليف التقوية ومادة المصفوفة وتغيير محتوى
الالياف في المتراكب ($f_f = B$) :



٣-٤-٨ برنامج حساب الانفعال بتغيير الإجهاد المسلط وثبوت معامل يونك

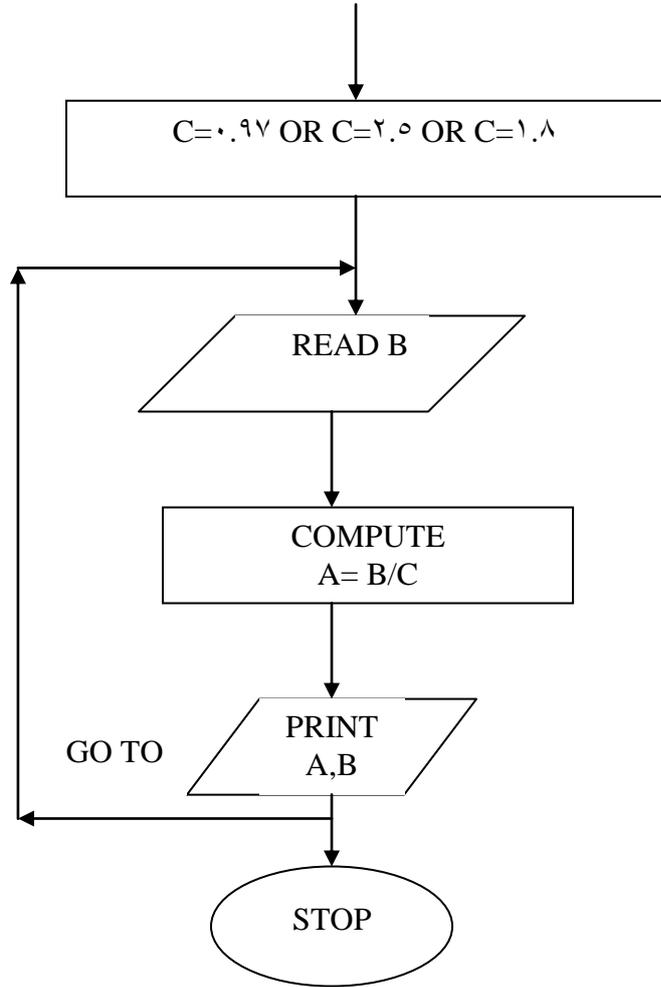


٣-٤-٩ برنامج حساب الانفعال بثبوت الإجهاد المسلط وتغيير معامل يونك

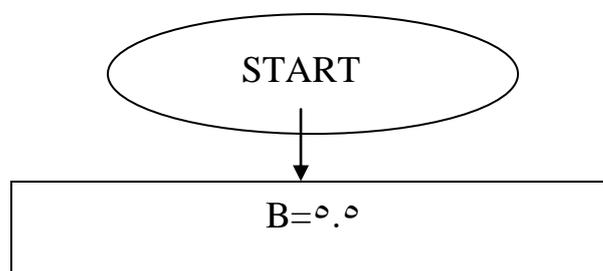


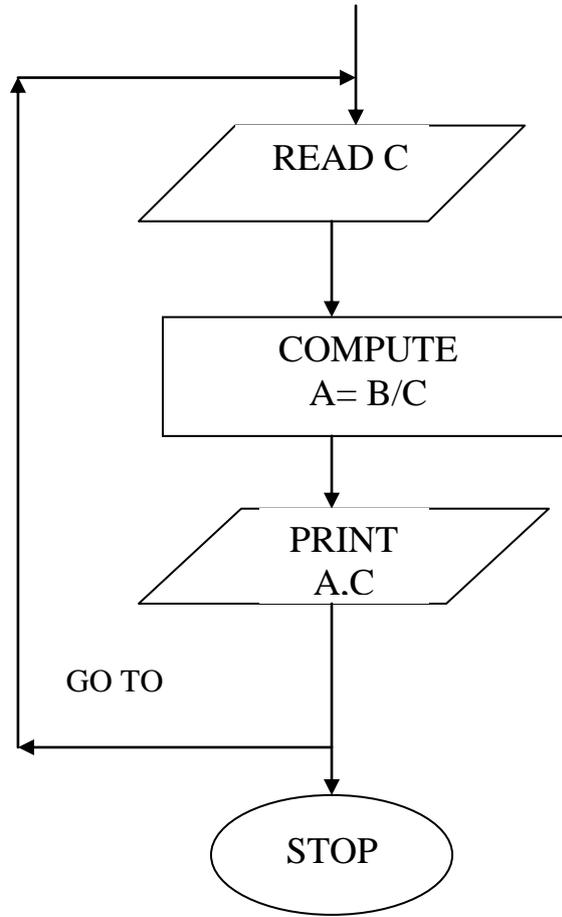
٣-٤-١٠ برنامج حساب المتانة النوعية (k_p=A) بثبوت الكثافة وتغيير الإجهاد المسلط (σ_u=B)





١١-٤-٣ برنامج حساب المتانة النوعية ($k_p=A$) بتغيير الكثافة وثبوت الإجهاد المسلط ($\sigma_u=B$)





٥-٣ القياسات

١-٥-٣ قياس الطاقة السطحية للتصدع بتغيير الاجهاد المسلط

لمعرفة تأثير الاجهاد المسلط على الطاقة السطحية للتصدع وملاحظة العلاقة بين زيادة الاجهاد المسلط و الطاقة السطحية للتصدع ، تم تغيير الاجهاد المسلط في المدى الذي يتراوح بين (٣ -) ٧ GPa لكلا النموذجين المقوى بألياف الكربون والمقوى بألياف الزجاج مع ثبوت بقية المتغيرات التي هي (قطر الليف النموذجي لكل نوع من الالياف ، معامل يونك حيث تمت معرفة هذه القيم بالاستعانة بجدول الثوابت رقم (٢-٣) ، ومحتوى الألياف ، وإجهاد القص) لكل من ألياف الكربون وألياف الزجاج وتم استخدام المعادلة رقم (٢-٢٠) لغرض معرفة تأثير تغيير الإجهاد المسلط على الطاقة السطحية للتصدع . حيث أن معامل يونك لألياف الزجاج يساوي (٧٠ GPa) ويساوي (٢٥٠ GPa) لألياف الكربون ، وإجهاد القص (٣ * ١٠^{-٣} GPa) لكلا

النموذجين ومحتوى الألياف تم حسابه من المعادلة رقم (٢-٢١). ٣-٥-٢ قياس الطاقة السطحية للتصدع بتغيير قطر الألياف

لمعرفة تأثير قطر الألياف على الطاقة السطحية للتصدع وملاحظة العلاقة بين زيادة قطر الألياف والطاقة السطحية للتصدع ، تم تغيير قطر الألياف في المدى الذي يتراوح بين μm (١٧ - ٧) لكلا النموذجين المقوى بألياف الكربون والمقوى بالألياف الزجاج مع ثبوت بقية المتغيرات والتي هي (إجهاد الشد ، ومعامل يونك ، ومحتوى الألياف ، واجهاد القص) لكلا من ألياف الكربون والألياف الزجاج وتم استخدام المعادلة رقم (٢-٢٠) لغرض معرفة تأثير تغيير قطر الألياف على الطاقة السطحية للتصدع . حيث تم الاستعانة بجدول الثوابت رقم (٢-٣) لمعرفة معامل يونك الذي يساوي (٧٠ GPa) لألياف الزجاج و (٢٥٠ GPa) لألياف الكربون ، اما الاجهاد المسلط (إجهاد الشد) فتم اعتباره (٥.٥ GPa) واجهاد القص * (٣ GPa) 10^{-3} ولكلا النموذجين ومحتوى الألياف تم حسابه من المعادلة (٢-٢١).

٣-٥-٣ قياس الطاقة السطحية للتصدع بتغيير محتوى الألياف

لمعرفة تأثير تغيير محتوى الألياف على الطاقة السطحية للتصدع وملاحظة العلاقة بين زيادة محتوى الألياف و الطاقة السطحية للتصدع ، تم تغيير محتوى الألياف في المدى الذي يتراوح بين (٤ - ١) ألياف لكلا النموذجين المقوى بألياف الكربون والمقوى بألياف الزجاج مع ثبوت بقية المتغيرات والتي هي { قطر الليف النموذجي لكل نوع من الألياف ، معامل يونك حيث تمت معرفة هذه القيم بالاستعانة بجدول الثوابت رقم (٢-٣) ، واجهاد القص ، واجهاد المسلط } لكل من ألياف الكربون وألياف الزجاج وتم استخدام المعادلة رقم (٢-٢٠) لغرض معرفة تأثير تغيير محتوى الألياف على الطاقة السطحية للتصدع . حيث أن معامل يونك لألياف الزجاج يساوي (٧٠ GPa) ويساوي (٢٥٠ GPa) لألياف الكربون واجهاد القص ($10^{-3} \text{ GPa} * ٣$) لكلا النموذجين ومحتوى الألياف تم حسابه من المعادلة رقم (٢-٢١).

٣-٥-٤ قياس تأثير التقوية بألياف الكربون أو ألياف الزجاج على مادة

وتم هذا **البولي اثيلين (مادة المصفوفة)** ، rule لحساب معامل يونك للمترابك وكثافة المترابك والمتانة النوعية للمترابك ولكلا النموذجين حيث تم حساب معامل يونك من معادلة رقم (١-٢) عندما يكون الحمل المسلط عموديا" على الألياف ، وتم حساب معامل يونك من معادلة رقم (١-١) عندما يكون الاجهاد المسلط موازي للألياف وتم حساب كثافة المترابك باستخدام قاعدة الخلط حسب معادلة (٢-٣٤) ، اما المتانة النوعية فتم حسابها من خلال معادلة (٢-٣٣) . وتم من خلال القياسات معرفة تأثير التقوية بالألياف الكربون والتقوية بالألياف الزجاج على مادة البولي اثيلين وتمت المقارنة بينهما . كما تم حساب الكسر الحجمي للألياف من معادلة رقم (٢-٣٥) بتغيير النسبة الوزنية للألياف من (٣٠٪) الى (٧٠٪) بزيادة مقدارها (٢٠٪) ولكلا النموذجين ، وتم حساب معامل يونك للمترابك حسب المعادلات رقم (١-١) و (٢-١) والكثافة حسب المعادلة (٢-٣٤) .

٣-٦ قياس الانفعال بتغيير قيمة الاجهاد المسلط وثبوت معامل يونك للألياف

لغرض معرفة تأثير الإجهاد المسلط على انفعال الألياف ، تم تغيير قيمة الإجهاد المسلط على الألياف ولكلا النوعين في المدى الذي يتراوح بين (٧ - ٣ GPa) وتم حساب قيمة الانفعال لكلا النوعين من الألياف وحسب المعادلة رقم (٢-٨) بثبوت معامل يونك لكل نوع من الألياف حسب الجدول (٢-٣) ، وتمت المقارنة بين قيم الانفعال لكل نوع من الألياف .

أما بالنسبة لكيفية حساب انفعال المترالكب ، فقد تم تطبيق العلاقة رقم (٢-٨) ولكن بالاستعاضة عن معامل يونك لمادة الليف بمعامل يونك للمترالكب الذي تم حسابه حسب قاعدة الخلط من معادلة رقم (١-٢) ولكلا النموذجين المقوى بألياف الكربون والمقوى بألياف الزجاج وتمت المقارنة بين قيم الانفعال لكلا النموذجين ، كما تمت المقارنة بين قيم الانفعال قبل عملية التقوية بالألياف وبعدها ولكلا النموذجين . اما بالنسبة لمعرفة تغيير النسبة الوزنية للألياف (محتوى الألياف في المترالكب) فقد تم تغيير النسبة الوزنية للألياف من (٣٠٪) الى (٧٠٪) بزيادة مقدارها (٢٠٪) ولكلا النموذجين ، وتم حساب الكسر الحجمي للألياف من معادلة رقم (٢-٣٥) ، ثم تم حساب الانفعال من المعادلة رقم (٢-٨) بثبوت الاجهاد المسلط (٥.٥ GPa)

الفصل الرابع النتائج والمناقشة

٤-١ مقدمة INTRODUCTION

يقدم هذا الفصل استعراضاً وتحليلاً لنتائج الحسابات المشار إليها في الفصل الثالث وتشمل الطاقة السطحية للتصدع وانفعال الألياف وكثافة المترالكب ومعامل يونك للمترالكب والمتانة النوعية للمترالكب .

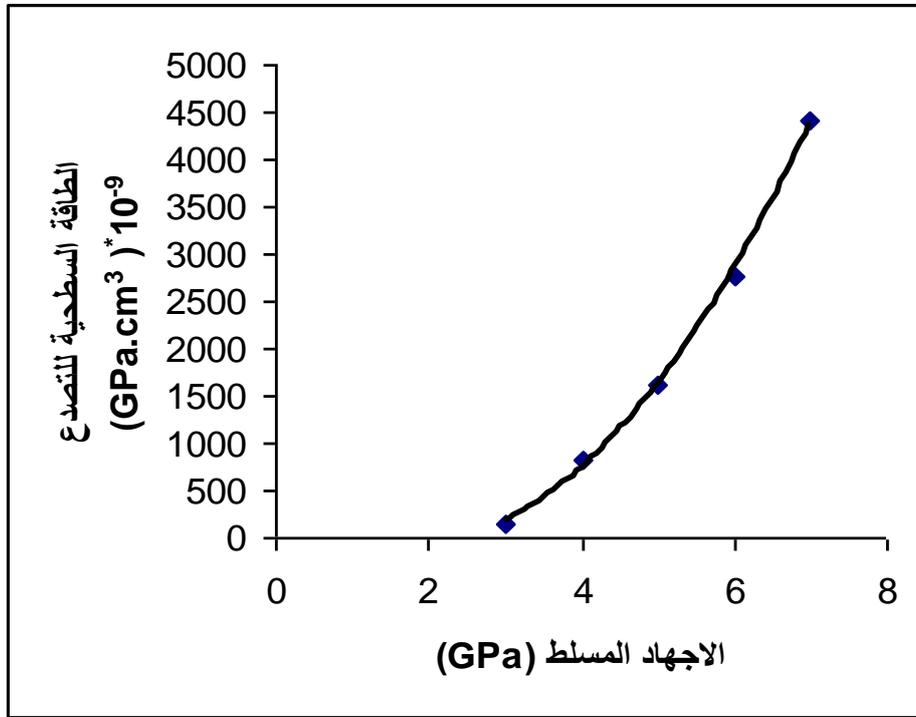
٤-٢ الطاقة السطحية للتصدع:

٤-٢-١ نتائج تأثير الإجهاد المسلط على الطاقة السطحية للتصدع

لقد تم دراسة تأثير زيادة الإجهاد المسلط على الطاقة السطحية للتصدع لمترالكب البولي اثيلين المقوى بألياف الكربون ومترالكب البولي اثيلين المقوى بألياف الزجاج ، وقد تم ملاحظة زيادة قيمة الطاقة السطحية للتصدع بزيادة الإجهاد المسلط في المدى الذي يتراوح بين (٣ - ٧ GPa) بثبوت محتوى الألياف ($n = ٤$) وقطر الليف النموذجي لكل نوع من الألياف وثبوت معامل يونك لكل نوع من الألياف من خلال جدول الثوابت رقم (٢-٣) وتم تثبيت قيمة إجهاد القص حيث تساوي ($١٠^{-٣} \text{ GPa} * ٣$) 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 ($U_m + U_f$) [١٥] ، ولكلا النموذجين ، وقد أثبتت النتائج الموضحة في الجداول رقم (١-٤) و (٢-٤) والمبينة في الاشكال رقم (١-٤) و (٢-٤) أيضاً ان التقوية بألياف الزجاج أفضل من التقوية بألياف الكربون حيث أن ألياف الزجاج عندما تنقطع أو تتكسر فإنها تعطي طاقة سطحية للتصدع اكبر من قيمة الطاقة السطحية للتصدع التي تعطيها ألياف الكربون عندما تنقطع ، وذلك بسبب إن ألياف الزجاج تمتلك معامل يونك اقل من ألياف الكربون [١١,٧] ، لذلك فان الياف الزجاج تمتلك مرونة اقل من الياف 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 (٢-٢٠) التي تم من خلالها حساب قيمة الطاقة السطحية للتصدع 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 الياف الزجاج في عملية التقوية بدلا من الياف الكربون . والجدول رقم (١-٤) يبين نتائج الطاقة السطحية للتصدع بزيادة الإجهاد المسلط تم الحصول عليها من تقوية البولي اثيلين بألياف الزجاج ، حيث يوضح الجدول انه بزيادة الاجهاد المسلط من (٣ GPa) الى (٧ GPa) تزداد الطاقة السطحية للتصدع من ($١٠^{-٩} \text{ GPa} . \text{cm}^٣ * ١٣٧$) الى ($١٠^{-٩} \text{ GPa} . \text{cm}^٣ * ٤٤١٣$) .

جدول رقم (٤-١) يبين النتائج التي تم الحصول عليها من تغيير الإجهاد المسلط على المتراكب المدعم بألياف الزجاج والطاقة السطحية للتصدع الناتجة بثبوت محتوى الألياف ($n=٤$) ومعامل يونك لألياف الزجاج (٧٠ GPa) وإجهاد القص ($٣*١٠^{-٣}$ GPa) وقطر الليف النموذجي لألياف الزجاج (١٦ μm)	
الاجهاد المسلط (GPa)	الطاقة السطحية للتصدع ($\text{GPa.cm}^3 * ١٠^{-٩}$)
σ_u	γ_f
٣	١٣٧
٤	٨٢٣
٥	١٦٠٨
٦	٢٧٧٩
٧	٤٤١٣

والشكل رقم (٤-١) يوضح العلاقة بين الطاقة السطحية للتصدع والإجهاد المسلط للمتراكب المدعم بألياف الزجاج

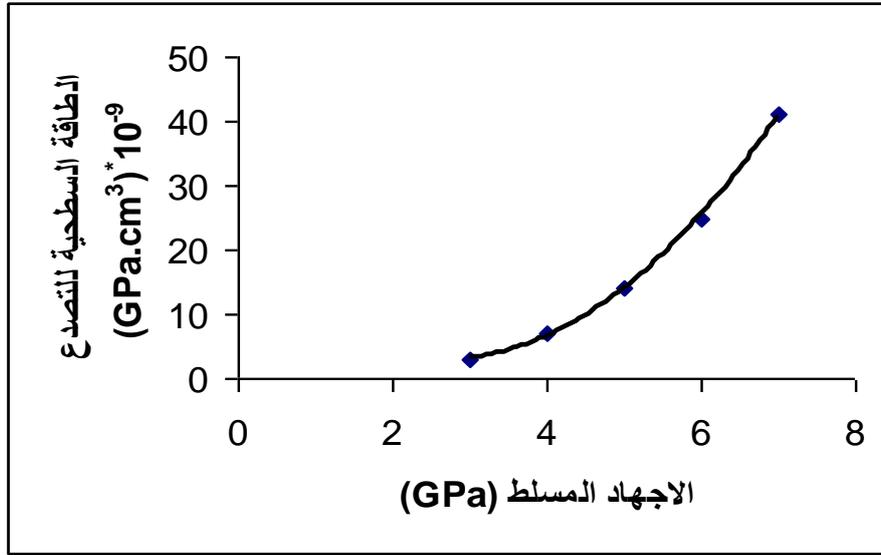


شكل رقم (٤-١) العلاقة بين الطاقة السطحية للتصدع والإجهاد المسلط بثبوت عدد ألياف التقوية (٤) ألياف زجاج وثبوت قطر الألياف (١٦ μm) وثبوت معامل يونك (٧٠ GPa) وإجهاد القص ($٣*١٠^{-٣}$ GPa) وإجهاد القص ($٣*١٠^{-٣}$ GPa) ، حيث يوضح الجدول انه بزيادة الاجهاد المسلط من (٣ GPa) الى (٧ GPa) تزداد الطاقة السطحية للتصدع من ($١٣٧ * ١٠^{-٩}$ GPa.cm^٣) الى ($٤٤١٣ * ١٠^{-٩}$ GPa.cm^٣) .

جدول رقم (٤-٢) يبين النتائج التي تم الحصول عليها من تغيير الإجهاد المسلط على المتراكب المدعم بألياف الكربون والطاقة السطحية للتصدع الناتجة بثبوت محتوى الألياف ($n=٤$) ومعامل يونك لألياف الكربون (٢٥٠ GPa) وإجهاد القص ($٣*١٠^{-٣}$ GPa)

وقطر الليف النموذجي لألياف الكربون $(7 \mu\text{m}) = (7 * 10^{-4} \text{ cm})$	
الاجهاد المسلط (GPa)	الطاقة السطحية $(10^{-9} * \text{GPa.cm}^3)$
σ_u	γ_f للتصدع
٣	٣
٤	٧
٥	١٤
٦	٢٥
٧	٤١

والشكل رقم (٢-٤) يوضح العلاقة بين الطاقة السطحية للتصدع والاجهاد المسلط للمترابك المدعم بألياف الكربون :



شكل رقم (٢-٤) العلاقة بين الطاقة السطحية للتصدع والاجهاد المسلط بثبوت عدد ألياف التقوية (٤) ألياف كربون وثبوت قطر الألياف $(7 \mu\text{m})$ وثبوت معامل يونك (250 GPa) واجهاد القص $(3 * 10^{-3} \text{ GPa})$

٢-٢-٤ نتائج تأثير تغيير قطر الألياف على الطاقة السطحية للتصدع

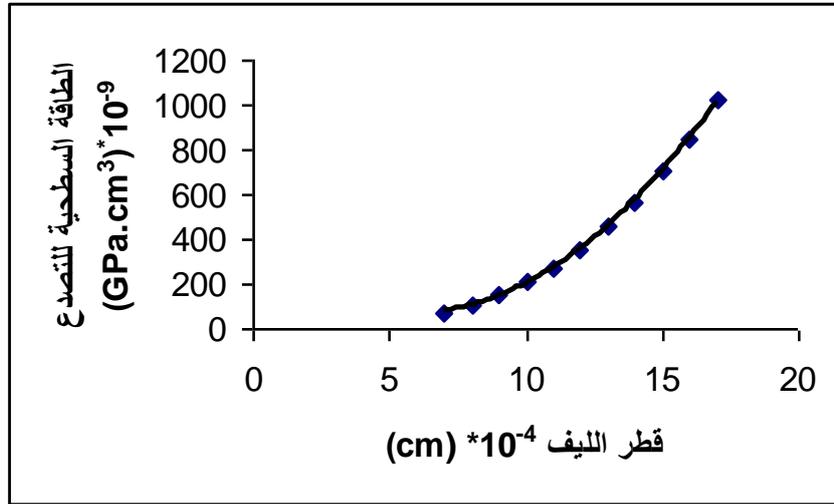
لقد أثبتت النتائج الموضحة في الجداول (٣-٤) و (٤-٤) والمبينة بالأشكال (٣-٤) و (٤-٤) إن زيادة قطر الألياف يؤدي إلى زيادة الطاقة السطحية للتصدع ، حيث تم تغيير قيمة قطر الألياف في المدى الذي يتراوح بين $(7 - 17) \mu\text{m}$ ولكلا النموذجين المقوى بألياف الكربون والمقوى بألياف الزجاج وبثبوت الاجهاد المسلط (0.5 GPa) ومعامل يونك لكل نوع من الألياف واجهاد القص $(3 * 10^{-3} \text{ GPa})$ ومحتوى الألياف ، حيث إن زيادة قطر الألياف تؤدي إلى زيادة قيمة محتوى الألياف وحسب المعادلة رقم (٢-٢) التي تم فيها حساب قيمة محتوى الألياف وكذلك فإن زيادة قطر الألياف تؤدي إلى زيادة الطاقة السطحية للتصدع وحسب المعادلة التي تم منها حساب الطاقة السطحية للتصدع (معادلة رقم ٢-٢) حيث أن العلاقة طردية بين قطر الألياف والطاقة السطحية للتصدع [١٥, ١٤] ، وقد أثبتت النتائج أن التقوية بألياف الزجاج أفضل من التقوية بألياف الكربون لأن ألياف الزجاج تمتلك معامل يونك اقل من ألياف الكربون وحسب جدول رقم (٣-٢) ، 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 بدلاً من الألياف القصيرة لان الإجهاد يتوزع على أطراف الألياف بصورة اقل من بقية الأجزاء ، و يمكن تحقيق ذلك بتقليل قطر الليف (أي الحصول على مساحة سطحية صغيرة) ، وبذلك فان الاستعاضة عن تقليل قطر الليف للحصول على طاقة سطحية للتصدع عالية تتم بزيادة محتوى الألياف والتي بدورها تؤدي إلى زيادة الطاقة السطحية للتصدع وحسب علاقة رقم (٢-٢٠) 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 [٧] 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 لان الطاقة السطحية الناتجة من تكسر ألياف الكربون أوطأ من الطاقة السطحية للتصدع الناتجة من تكسر ألياف الزجاج ، وهذا يقلل من احتمالية حدوث كسر سريع [٣١] .

الجدول رقم (٤-٣) يبين النتائج التي تم الحصول عليها من تغيير قطر الألياف على الطاقة السطحية للتصدع بثبوت قيمة الإجهاد المسلط (٥.٥ GPa) ومعامل يونك لألياف الزجاج (٧٠ GPa) وإجهاد القص ($10^{-3} \text{ GPa} * ٣$) وعدد الألياف ($n = ٤$) والشكل رقم (٤-٣) يوضح العلاقة بين زيادة قطر الألياف في المدى الذي يتراوح بين ($٧ - ١٧ \mu\text{m}$) والطاقة السطحية للتصدع للمتراكب المقوى بألياف الزجاج بثبوت قيمة الإجهاد المسلط وإجهاد القص ومعامل يونك ومحتوى الألياف .
والجدول رقم (٤-٤) يوضح نتائج تغيير القطر على الطاقة السطحية للتصدع للمتراكب المقوى بألياف الكربون بثبوت الإجهاد المسلط (٥.٥ GPa) وإجهاد القص ($10^{-3} \text{ GPa} * ٣$) ومعامل يونك لألياف الكربون (٢٥٠ GPa) ومحتوى الألياف (٤ الياف) .
والشكل رقم (٤-٤) يوضح العلاقة بين تغيير قطر الألياف والطاقة السطحية للتصدع للمتراكب المقوى بألياف الكربون بثبوت الإجهاد المسلط وإجهاد القص ومعامل يونك ومحتوى الألياف .
وبمقارنة الجدول رقم (٤-٣) مع الجدول رقم (٤-٤) نستنتج ان التقوية بالليف الزجاج تؤدي الى الحصول على قيم طاقة سطحية للتصدع اكبر من القيم الناتجة من التقوية بالليف الكربون عند تغيير قطر الاليف في المدى الذي يتراوح بين ($٧-١٧ \mu\text{m}$) .

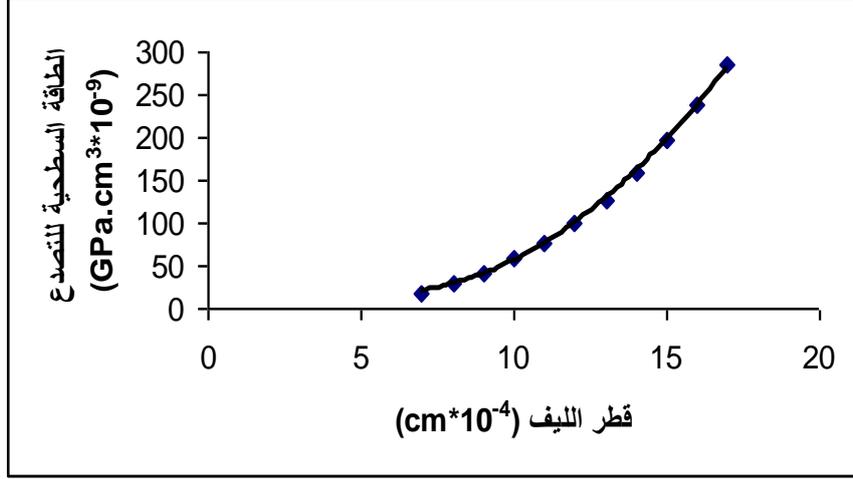
الجدول رقم (٤-٣) يبين النتائج التي تم الحصول عليها من تغيير قطر الألياف على الطاقة السطحية للتصدع بثبوت قيمة الإجهاد المسلط (٥.٥ GPa) ومعامل يونك لألياف الزجاج (٧٠ GPa) وإجهاد القص ($10^{-3} \text{ GPa} * ٣$) وعدد الألياف ($n = ٤$)	
قطر الليف * 10^{-4} (cm)	الطاقة السطحية للتصدع * 10^{-4} (GPa . cm ³)
٧	٧١
٨	١٠٦
٩	١٥١
١٠	٢٠٧
١١	٢٧٦
١٢	٣٥٨

٤٥٥	١٣
٥٦٩	١٤
٧٠٠	١٥
٨٤٩	١٦
١٠١٩	١٧



الشكل رقم (٣-٤) يوضح العلاقة بين زيادة قطر الألياف في المدى الذي يتراوح بين (٧ - ١٧ μm) والطاقة السطحية للتصدع للمترابك المدعم بألياف الزجاج بثبوت قيمة الإجهاد المسلط وإجهاد القص ومعامل يونك ومحتوى الألياف .

للمترابك المدعم بألياف الكربون بثبوت الإجهاد المسلط (٥.٥ GPa) وإجهاد القص (٣ * ١٠ ^{-٣} GPa) ومعامل يونك لألياف الكربون (٢٥٠ GPa) ومحتوى الألياف	
الطاقة السطحية للتصدع * ١٠ ^{-٩} (GPa cm ^٣)	قطر الليف * ١٠ ^{-٤} (cm)
١٩	٧
٢٩	٨
٤٢	٩
٥٨	١٠
٧٧	١١
١٠٠	١٢
١٢٧	١٣
١٥٩	١٤
١٩٦	١٥
٢٣٧	١٦
٢٨٥	١٧



الشكل رقم (٤-٤) يوضح العلاقة بين تغيير قطر الألياف والطاقة السطحية للتصدع للمترابك المدعم بألياف الكربون بثبوت الإجهاد المسلط وإجهاد القص ومعامل يونك ومحتوى الألياف.

-٤-

للتصدع

لقد أثبتت النتائج إن زيادة محتوى الألياف يؤدي إلى زيادة الطاقة السطحية للتصدع ، حيث تم تغيير قيمة عدد الألياف في المدى الذي يتراوح بين (٤-١) ولكلا النموذجين المقوى بألياف الكربون والمقوى بألياف الزجاج وبثبوت الإجهاد المسلط (٥.٥ GPa) ومعامل يونك لكل نوع من الألياف وإجهاد القص ($10^{-3} \times 3$ GPa) ، حيث أن زيادة محتوى الألياف تؤدي إلى زيادة قيمة الطاقة السطحية للألياف وذلك لأن كل ليف يقطع سوف يساهم بكمية من الطاقة مقدارها ($U_m + U_f$) تضاف إلى الطاقة السطحية للتصدع وكذلك حسب المعادلة رقم (٢-٢٠) التي تم منها حساب قيمة الطاقة السطحية للألياف حيث إن العلاقة طردية بين محتوى الألياف والطاقة السطحية للتصدع ، وهذا يتفق مع الدراسات التي أجريت من قبل

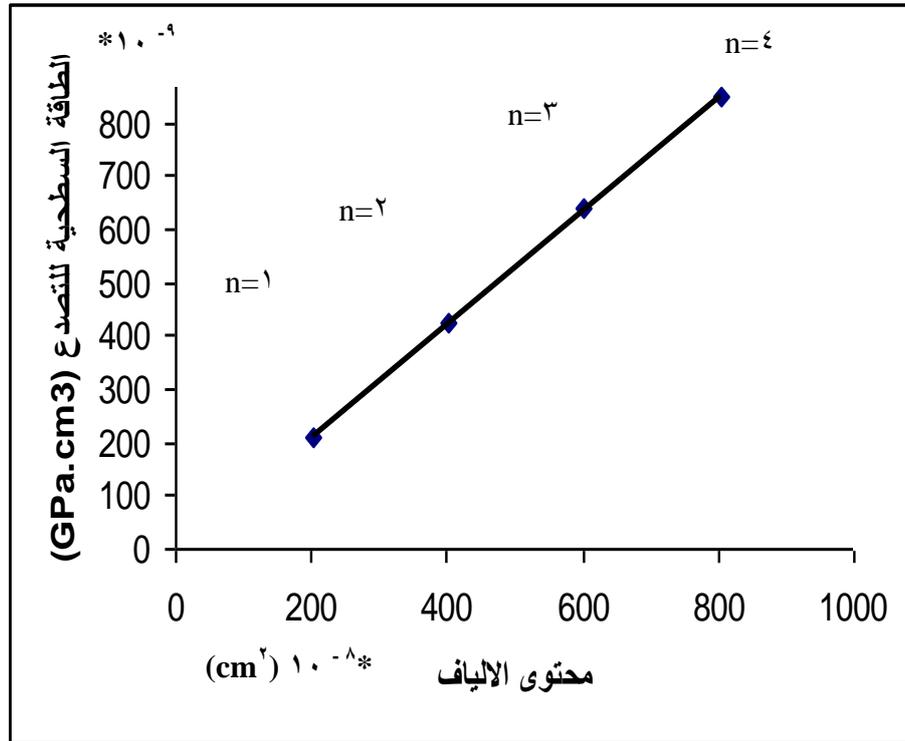
(Cooper & Kelly) [١٤] على نموذج فحص مترابك من النحاس المقوى بألياف السيليكا وآخر مقوى بألياف التنتكستن والدراسات التي أجريت من قبل (Piggott) [١٥] على نموذج افتراضي من رقاقة لانهائية تحتوي الياف منضدة بشكل متوازٍ .

والجدول رقم (٤-٥) يبين النتائج التي تم الحصول عليها من تغير محتوى الألياف على الطاقة السطحية للتصدع بثبوت قيمة الإجهاد المسلط (٥.٥ GPa) ومعامل يونك لألياف الزجاج (٧٠ GPa) وإجهاد القص ($10^{-3} \times 3$ GPa) وقطر الليف النموذجي للزجاج ($16 \mu m$) وتغيير عدد الألياف في المدى ($n = 1$ إلى $n = 4$) . والشكل رقم (٤-٥) يوضح العلاقة بين زيادة محتوى الألياف في المدى الذي يتراوح بين ($n = 1$ إلى $n = 4$) والطاقة السطحية للتصدع للمترابك المقوى بألياف الزجاج بثبوت قيمة الإجهاد المسلط وإجهاد القص ومعامل يونك وقطر الليف ، حيث يوضح الشكل انه بزيادة محتوى الياف الزجاج تزداد الطاقة السطحية للتصدع . والجدول رقم (٤-٦) يوضح نتائج تغيير محتوى الألياف على الطاقة السطحية للتصدع للمترابك المقوى بألياف الكربون بثبوت الإجهاد المسلط (٥.٥ GPa) وإجهاد القص ($10^{-3} \times 3$ GPa) ومعامل يونك لألياف الكربون

(٢٥٠ GPa) وقطر الليف النموذجي للكربون ($7 \mu m$) . والشكل رقم (٤-٦) يوضح العلاقة بين تغيير محتوى الألياف والطاقة السطحية للتصدع للمترابك المقوى بألياف الكربون بثبوت الإجهاد المسلط وإجهاد القص ومعامل يونك وقطر الليف النموذجي . حيث يوضح الشكل

انه بزيادة محتوى الياف الكربون تزداد الطاقة السطحية للتصدع ، وبمقارنة الجداول رقم (٤-٥) و (٤-٦) نلاحظ ان التقوية بالياف الزجاج تؤدي الى زيادة الطاقة السطحية للتصدع بمقدار اكبر من التقوية بالياف الكربون .

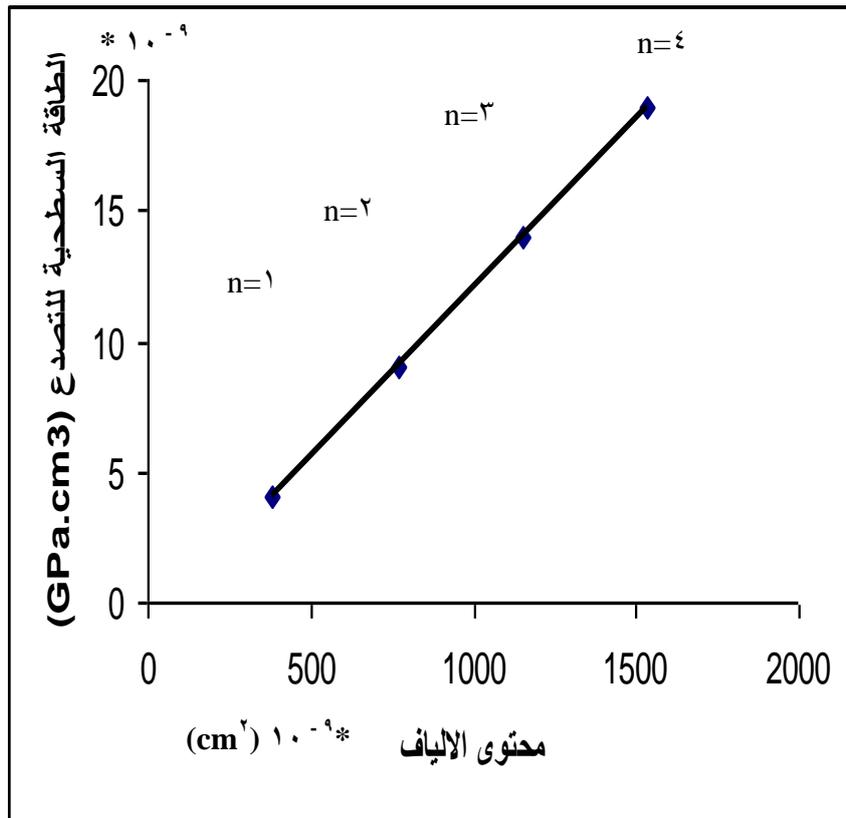
الجدول رقم (٤-٥) يبين النتائج التي تم الحصول عليها من تغير محتوى الألياف على الطاقة السطحية للتصدع بثبوت قيمة الإجهاد المسلط (٥.٥ GPa) ومعامل يونك لألياف الزجاج (٧٠ GPa) وإجهاد القص ($٣ * ١٠^{-٣}$ GPa) وقطر الليف النموذجي للزجاج ($١٦ \mu\text{m}$)			
عدد الاليف n	محتوى الاليف $١٠^{-٨} * (\text{cm}^2)$	الطاقة السطحية للتصدع $١٠^{-٩} * (\text{GPa cm}^3)$	
١	٢٠١.١	٢١٢	
٢	٤٠٢.١	٤٢٤	
٣	٦٠٣.٢	٦٣٧	
٤	٨٠٤.٢	٨٤٩	



الشكل رقم (٤-٥) يوضح العلاقة بين زيادة محتوى الألياف في المدى الذي يتراوح بين ($n=١$) الى ($n=٤$) والطاقة السطحية للتصدع للمتراكب المدعم بألياف الزجاج بثبوت قيمة الإجهاد المسلط (٥.٥ GPa) وإجهاد القص ($٣ * ١٠^{-٣}$ GPa) ومعامل

يونك (70 GPa) وبثبوت قطر الليف الزجاجي ($10^{-4} * 16$ cm) أو ($16 \mu\text{m}$)

الجدول رقم (٤-٦) يوضح نتائج تغير محتوى الألياف على الطاقة السطحية للتصدع للمترابك المدعم بألياف الكربون بثبوت الإجهاد المسلط (٥.٥ GPa) وإجهاد القص ($3 * 10^{-3}$ GPa) ومعامل يونك لألياف الكربون (٢٥٠ GPa) وقطر الليف النموذجي للكربون ($7 \mu\text{m}$) ، أو ($7 * 10^{-4}$ cm) .		
عدد الألياف n	محتوى الألياف * 10^{-9} (cm ^٢)	الطاقة السطحية للتصدع * 10^{-9} (GPa.cm ^٣)
١	٣٨٤	٤
٢	٧٦٩	٩
٣	١١٥٢	١٤
٤	١٥٣٩	١٩



شكل رقم (٤ - ٦) يوضح العلاقة بين محتوى الألياف والطاقة السطحية للتصدع للمترابك المقوى بألياف الكربون بثبوت قطر ليف الكربون ($7 * 10^{-4}$ cm) وإجهاد القص ($3 * 10^{-3}$ GPa) وإجهاد الشد (٥.٥ GPa) أو ($7 \mu\text{m}$)

٣-٤ نتائج تأثير التقوية بألياف الزجاج وألياف الكربون على مادة

البولي اثيلين

لغرض سبر- سير ، ييب- سوي- سى مادة البولي اثيلين ، فقد تم دراسة تأثير ألياف الزجاج وألياف الكربون على كثافة المادة المعادلة رقم (٢ - ٣٤) ، وكذلك على معامل يونك للمادة المعادلة رقم (١ - ٢) وحسب قاعدة الخلط ، وأثبتت النتائج إن التقوية بألياف الكربون والألياف الزجاج تؤدي إلى الحصول على مترابك بكثافة متساوية مقدارها (0.97 Mg/m^3) في حالة عدد الألياف ($n=4$) ، حيث إن التأثير الأكثر ظهوراً في المترابك الناتج من عملية التقوية بأربعة الألياف فقط يكون لمصفوفة البولي اثيلين حسب قاعدة الخلط. والجدول رقم (٤-٧) و (٤-٨) يبين نتائج تأثير التقوية على معامل يونك والكثافة لمادة البولي اثيلين لكلا النموذجين المقوى بألياف الزجاج والمقوى بألياف الكربون بثبوت معامل يونك لمادة البولي اثيلين (٨ GPa) ، وبثبوت كثافة مادة البولي اثيلين (0.97 Mg/m^3) .

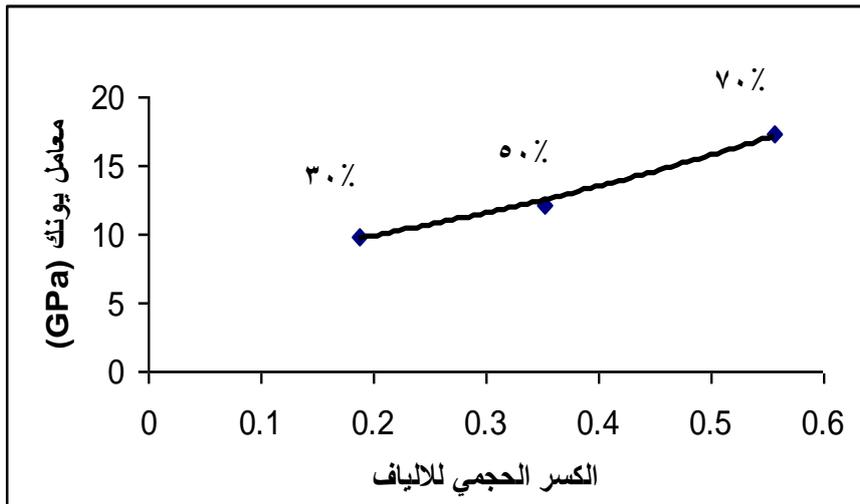
الجدول رقم (٤-٧) يبين نتائج تأثير التقوية على معامل يونك لمادة البولي اثيلين لكلا النموذجين المدعم بألياف الزجاج والمدعم بألياف الكربون بثبوت معامل يونك لمادة البولي اثيلين (٨ GPa) وثبوت عدد الألياف التقوية ($n=4$)		
معامل يونك للمترابك E_c GPa	معامل يونك للليف E_f GPa	نوع ليف التقوية
٨	٧٠	ألياف الزجاج (الاجهاد مسلط بصورة عمودية على الاليف)
٨	٢٥٠	ألياف الكربون (الاجهاد مسلط بصورة عمودية على الاليف)

الجدول رقم (٤-٨) يبين نتائج تأثير التقوية على كثافة مادة البولي اثيلين لكلا النموذجين المدعم بألياف الزجاج والمدعم بألياف الكربون بثبوت كثافة مادة البولي اثيلين (0.97 Mg/m^3) وثبوت عدد الألياف التقوية ($n=4$)		
كثافة المترابك Mg/m^3	الكثافة Mg/m^3	نوع ليف التقوية
٠.٩٧	٢.٥	ألياف الزجاج
٠.٩٧	١.٨	ألياف الكربون

ولزيادة كثافة المترابك ومعامل يونك للمترابك يتم زيادة محتوى الألياف فيه ، حيث تم تغيير قيمة الكسر الحجمي للليف (محتوى الألياف) في المترابك في المدى الذي يتراوح بين (٣٠٪) (نسبة وزنية للألياف الى (٧٠٪) بزيادة النسبة الوزنية للألياف بمقدار (٢٠٪) ، وقد اثبتت النتائج انه بزيادة محتوى الألياف يزداد كلا من معامل يونك والكثافة لكلا النموذجين المقوى بألياف الكربون والمقوى بألياف الزجاج ، حيث يوضح الجدول رقم (٤-٩) انه بزيادة محتوى الألياف من (٣٠٪) نسبة وزنية الى (٧٠٪) يزداد معامل يونك للمترابك المقوى بألياف الكربون من (٩.٨ GPa) الى (١٧.٣٦ GPa) وذلك لان معامل يونك لألياف الكربون اعلى من معامل يونك لمادة المصفوفة (البولي اثيلين) وحسب جدول الثوابت رقم (٢-٣) و (٢ - ٤) ، والشكل رقم (٤-٧) يوضح زيادة معامل يونك زيادة طردية مع زيادة محتوى الألياف بالنسبة للمترابك المقوى بألياف الكربون حيث ان زيادة معامل يونك للمترابك المقوى

بالياف الكربون بزيادة محتوى الاليف يعود الى ان الياف الكربون تمتلك معامل يونك عالي والعائد الى الروابط التساهمية التي تربط ذرات الكربون مع بعضها ، وكذلك فان اضافة الياف الكربون الى مادة البولي اثيلين يؤدي الى انتاج مترابك بمتانة عالية ، وذلك لان الاليف تعمل كمعوقات للشق (الكسر السريع) الذي ينمو خلال المادة الاساس (مادة المصفوفة) البولي اثيلين ، حيث عندما يصل الشق الى احد خيوط الاليف (مادة التقوية) فمجال الاجهاد امام الشق يفصل تماما" المادة الاساس على الاليف وعلى مدى منطقة صغيرة (وهذه العملية تدعى الانفصام) والشق عندئذ يتوسع بشكل كبير جدا" بحيث ان حركته تتوقف ، ومن الطبيعي ان هذا يتم فقط اذا نما الشق عموديا" على الاليف [٣١] .

جدول رقم (٤-٩) يوضح نتائج زيادة محتوى الاليف على معامل يونك للمترابك المدعم بالياف الكربون بثبوت معامل يونك لمادة البولي اثيلين (٨ GPa) ومعامل يونك لاليف الكربون (٢٥٠ GPa) عندما يكون الاجهاد مسلط بصورة عمودية على الاليف	
معامل يونك (GPa)	الكسر الحجمي للاليف
٩.٨٠٠	٠.١٨٨
١٢.١٣٤	٠.٣٥٢
١٧.٣٦٠	٠.٥٥٧



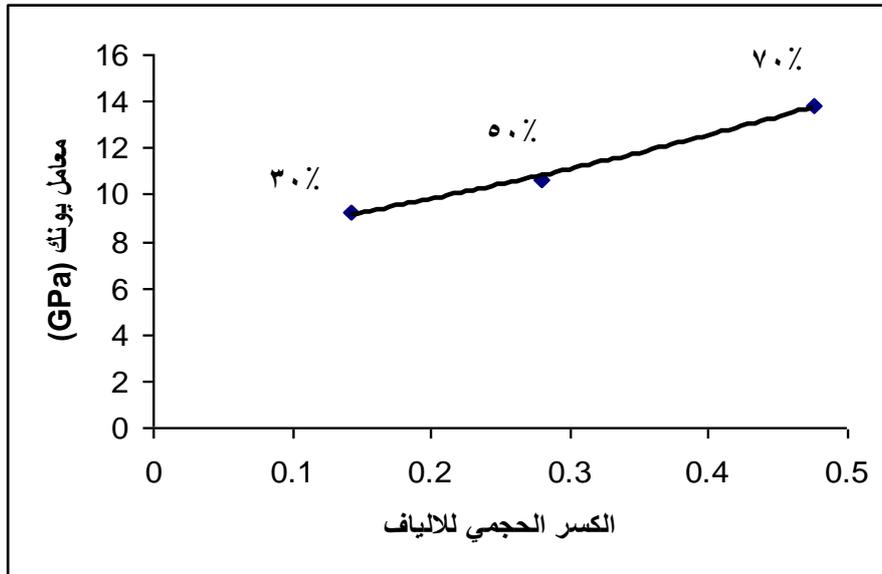
شكل رقم (٤-٧) يوضح العلاقة بين معامل يونك للمترابك المدعم بالياف الكربون وزيادة الكسر الحجمي للاليف (زيادة محتوى الاليف)

اما بالنسبة للمترابك المقوى بالياف الزجاج فيوضح الجدول رقم (٤-١٠) زيادة معامل يونك للمترابك بزيادة محتوى الاليف زيادة طردية ، حيث توضح النتائج زيادة معامل يونك للمترابك من (٩.٢ GPa) الى (١٣.٨١ GPa) بزيادة محتوى الاليف من (٣٠٪) نسبة وزنية الى (٧٠٪) وكما موضح في الشكل رقم (٤-٨) حيث ان الياف الزجاج تمتلك معامل يونك اعلى من معامل يونك لمادة البولي اثيلين حيث ان معامل يونك للبولي اثيلين والذي يساوي (٨ GPa) (يعود الى الروابط الضعيفة التي تربط ذرات البولي اثيلين مع بعضها والتي هي عبارة عن روابط فان در فالز ، حيث بالرغم من وجود الروابط التساهمية التي تربط الذرات في سلاسل الكربون التي يتألف منها البولي اثيلين وهي روابط جسوءة جدا" الا انها ستساهم بنسبة قليلة في جساءة البولي اثيلين بسبب وجود روابط فان در فالز الضعيفة جدا" والتي ستمدد عندما تحمل المادة وهكذا يكون معامل المرونة عائدا" الى روابط فان در فالز وليس للترابط التساهمي ، فعند اضافة الياف الزجاج الى مادة البولي اثيلين تؤدي الى زيادة معامل يونك للمادة من (٨ GPa)

بدون تقوية الى (9.2 GPa) بعد تقويتها باللياف الزجاج بنسبة وزنية مقدارها (30%) ، ويزداد معامل يونك الى (13.81 GPa) بزيادة النسبة الوزنية الى (70%) ، لان الروابط التي تربط ذرات الزجاج مع بعضها هي روابط تساهمية والتي بسببها يمتلك الزجاج معامل يونك عالٍ ، لكن لكون الزجاج مادة هشة أي تتعرض للكسر السريع بصورة مفاجئة في حالة كونها بصورة مفردة فعند اضافتها للبولي اثيلين الذي يمتلك مطيلية عالية فالنتاج عنهما يكون مركب ذو متانة عالية ولنفس السبب السابق ذكره في حالة التقوية باللياف الكربون [31] .

جدول رقم (٤ - ١٠) يوضح نتائج زيادة محتوى الاليف على معامل يونك للمترابك المدعم باللياف الزجاج بثبوت معامل يونك لمادة البولي اثيلين (8 GPa) ومعامل يونك لاليف الزجاج (70 GPa) عندما يكون الاجهاد المسلط بصورة عمودية على الاليف

معامل يونك (GPa)	الكسر الحجمي للاليف
9.20	0.143
10.64	0.280
13.81	0.475

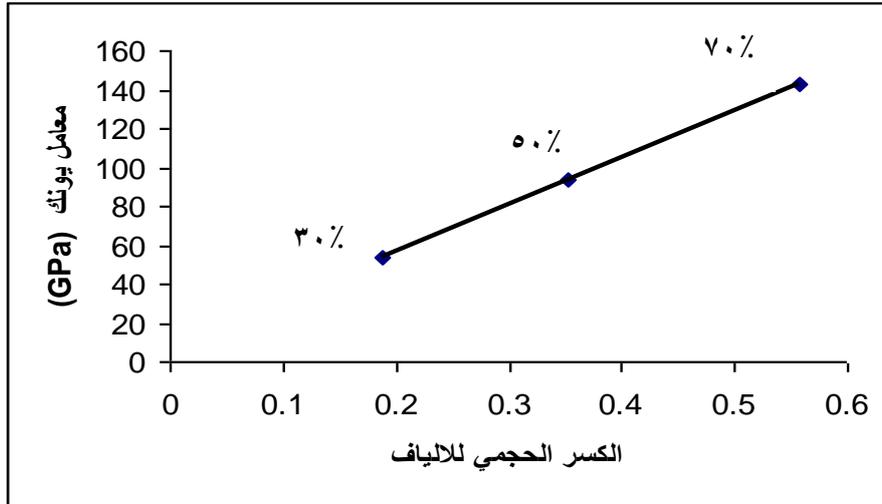


شكل رقم (٤ - ٨) يوضح العلاقة بين معامل يونك للمترابك المدعم باللياف الزجاج وزيادة الكسر الحجمي للاليف (زيادة محتوى الاليف)

اما بالنسبة لحالة الاليف المنضدة بصورة متوازية والحمل مسلط بصورة موازية لها ، فقد تم الحصول على اعلى معامل يونك للمترابك المقوى باللياف الزجاج والمترابك المقوى باللياف الكربون ، حيث لا يمكن ان يكون معامل يونك اعلى من هذه القيمة ، حيث بالنسبة للمترابك المقوى باللياف الكربون تم الحصول على مترابك بمعامل يونك مقداره (53.496 GPa) في حالة النسبة الوزنية لاليف الكربون تساوي (30%) ، وبزيادة النسبة الوزنية الى (70%) ازداد معامل يونك للمترابك المقوى باللياف الكربون الى (142.794 GPa) ، وهذا يطابق تقريبا" النتائج الموضحة في لوحة تدرج معاملات المرونة للمواد [31] ، وكما موضح في الجدول رقم (٤ - ١١) ، حيث في حالة الاجهاد العمودي على الاليف يكون تساوي الاجهادات وحسب قاعدة الخلط المعادلة رقم (١ - ٢) ، بينما في حالة الاجهاد الموازي للاليف يكون تساوي الانفعالات حسب معادلة رقم (١ - ١) لقاعدة الخلط ، والشكل رقم (٤ - ٩) يوضح العلاقة بين

معامل يونك وزيادة محتوى الالياف للمترابك المقوى بالياف الكربون عندما يكون الاجهاد مسلط بصورة موازية للالياف .

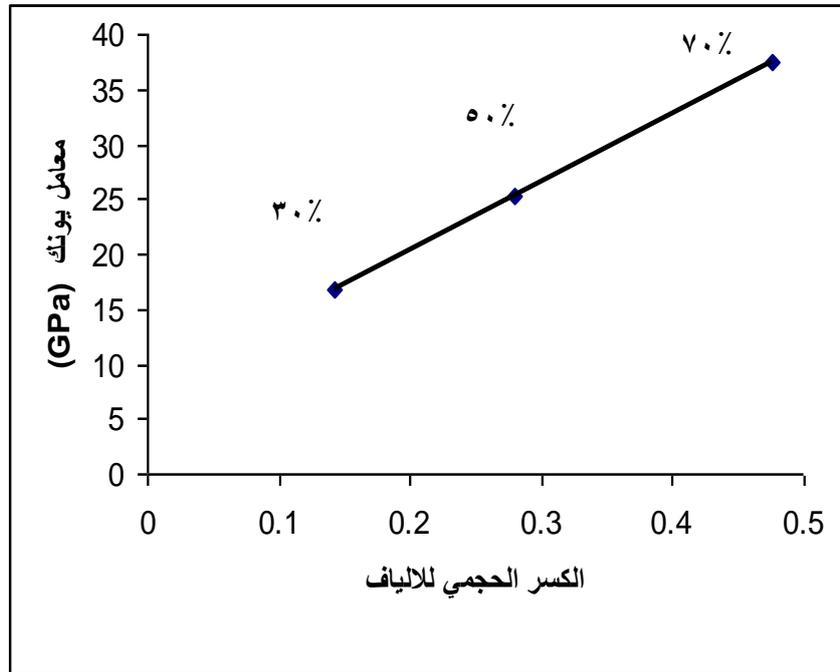
جدول رقم (٤-١١) يوضح نتائج زيادة محتوى الالياف على معامل يونك للمترابك المدعم بالياف الكربون بثبوت معامل يونك لمادة البولي اثيلين (8 GPa) ومعامل يونك لالياف الكربون (250 GPa) في حالة الاجهاد مسلط بصورة موازية للالياف	
معامل يونك (GPa)	الكسر الحجمي للالياف
٥٣.٤٩٦	٠.١٨٨
٩٣.١٨٤	٠.٣٥٢
١٤٢.٧٩٤	٠.٥٥٧



شكل رقم (٤-٩) يوضح العلاقة بين معامل يونك للمترابك المدعم بالياف الكربون وزيادة الكسر الحجمي للالياف (زيادة محتوى الالياف) المنضدة بصورة متوازية والاجهاد مسلط بصورة موازية لها .

اما بالنسبة للمترابك المقوى بالياف الزجاج فقد اثبتت النتائج الموضحة في جدول رقم (٤-١٢) ان زيادة محتوى الالياف من (٣٠٪) نسبة وزنية الى (٧٠٪) تؤدي الى زيادة معامل يونك للمترابك من (16.866 GPa) الى (37.45 GPa) ، حيث تمثل هذه القيم اعلى قيم ممكنة لمعامل يونك للمترابك المقوى بالياف الزجاج ، والتي تم الحصول عليها من تسليط الاجهاد بصورة موازية للالياف ولنفس السبب السابق ذكره في عملية التقوية بالياف الكربون ، والشكل رقم (٤-١٠) يوضح زيادة معامل يونك للمترابك المقوى بالياف الزجاج بزيادة محتوى الالياف المنضدة بصورة متوازية والاجهاد مسلط بصورة موازية لها .

جدول رقم (٤-١٢) يوضح نتائج زيادة محتوى الألياف على معامل يونك للمترابك المدعم بالألياف الزجاج بثبوت معامل يونك لمادة البولي اثيلين (٨ GPa) ومعامل يونك للألياف الزجاج (٧٠ GPa) عندما يكون الاجهاد مسلط بصورة موازية	
معامل يونك (GPa)	الكسر الحجمي للألياف
١٦.٨٦٦	٠.١٤٣
٢٥.٣٦٠	٠.٢٨٠
٣٧.٤٥٠	٠.٤٧٥

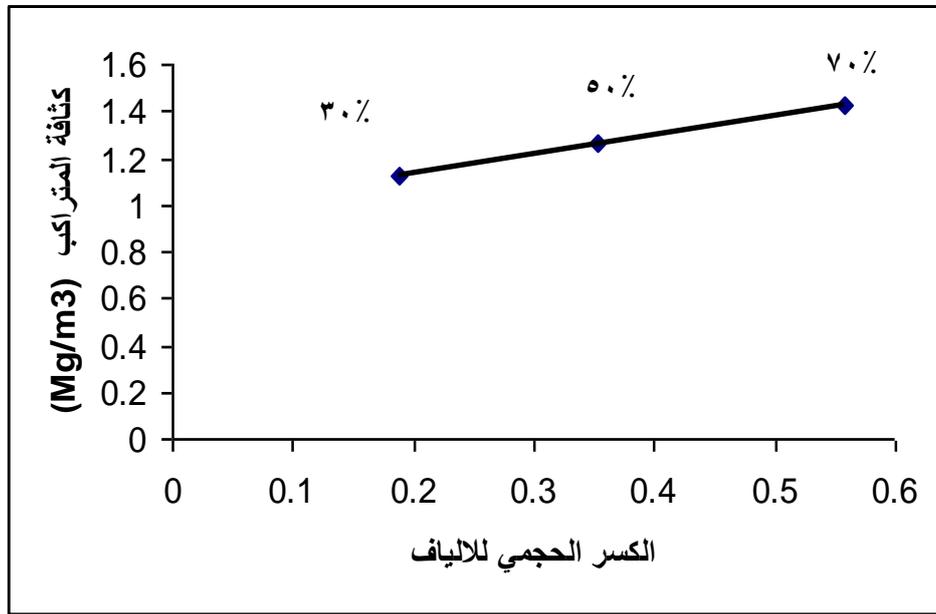


شكل رقم (٤-١٠) يوضح العلاقة بين معامل يونك للمترابك المدعم بالألياف الزجاج وزيادة الكسر الحجمي للألياف (زيادة محتوى الألياف) المنضدة بصورة متوازية والاجهاد مسلط بصورة موازية لها .

وبمقارنة النتائج التي تم الحصول عليها للمترابك المقوى بالألياف الكربون والمترابك المقوى بالألياف الزجاج ، نلاحظ ان التقوية بالألياف الكربون تؤدي الى الحصول على مترابك بمعامل يونك اعلى من معامل يونك للمترابك المقوى بالألياف الزجاج ، وهذا يعني ان التقوية بالألياف الكربون افضل من التقوية بالألياف الزجاج في الحالة التي يكون المرغوب فيها التقليل من حدوث عملية الكسر السريع . حيث ان زيادة معامل يونك تؤدي الى التقليل من الطاقة السطحية للتصدع . اما بالنسبة لكثافة المترابك الناتجة من زيادة محتوى الألياف (الكسر الحجمي) للألياف في المترابك فيوضح الجدول رقم (٤-١٣) انه زيادة محتوى الألياف من (٣٠%) نسبة وزنية الى (٧٠%) نسبة وزنية يؤدي الى زيادة كثافة المترابك المقوى بالألياف الكربون زيادة طردية من (١.١٢٦ Mg/m^٣) الى (١.٤٣ Mg/m^٣) وذلك بسبب تأثير الألياف الكربون على الروابط التي تربط جزيئات البولي اثيلين لتكوين المترابك الناتج من عملية التقوية ، حيث ان الروابط التي تربط ذرات البولي اثيلين هي عبارة عن روابط فان درفالز الضعيفة والتي تكون السبب في امتلاك البولي اثيلين كثافة واطنة ومعامل يونك واطئ ، لذلك فان اضافة الألياف

الكربون الى البولي اثيلين يؤدي الى زيادة الكثافة ومعامل يونك بسبب امتلاك الياف الكربون كثافة اعلى من كثافة البولي اثيلين ومعامل يونك عالٍ والذي يكون السبب فيه الروابط التساهمية التي تربط ذرات الكربون بعضها مع بعض . والشكل رقم (٤-١١) يوضح زيادة كثافة المتراب مع زيادة محتوى الالياف من (٣٠%) نسبة وزنية الى (٧٠ %) نسبة وزنية .

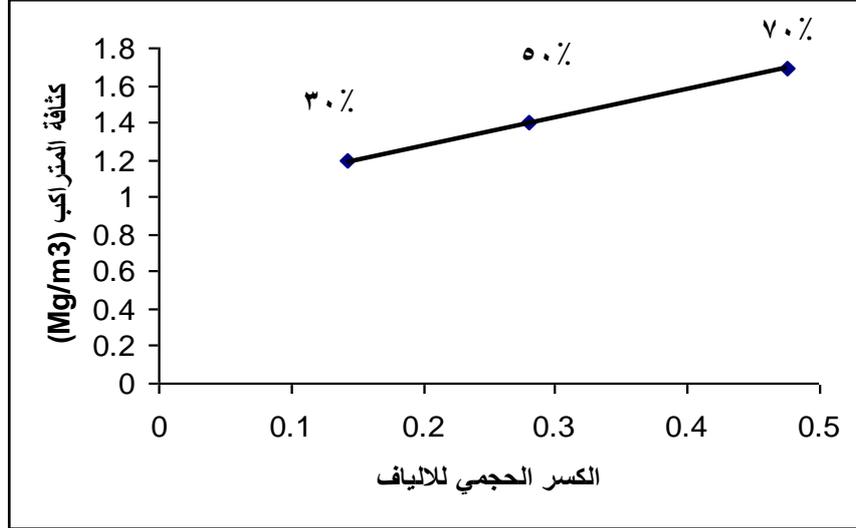
جدول رقم (٤-١٣) يوضح نتائج زيادة محتوى الالياف على كثافة المتراب المدعم بالياف الكربون بثبوت كثافة مادة البولي اثيلين (٠.٩٧ Mg/m ^٣)	
الكسر الحجمي للالياف	كثافة المتراب Mg/m ^٣
٠.١٨٨	١.١٢٦
٠.٣٥٢	١.٢٦٠
٠.٥٥٧	١.٤٣٠



شكل رقم (٤-١١) يوضح العلاقة بين كثافة المتراب المدعم بالياف الكربون وزيادة الكسر الحجمي للالياف (زيادة محتوى الالياف) المنضدة بصورة متوازية

اما بالنسبة لكثافة المتراب المقوى بالياف الزجاج والناجمة من زيادة محتوى الالياف (الكسر الحجمي) للالياف في المتراب فيوضح الجدول رقم (٤-١٤) انه بزيادة محتوى الالياف من (٣٠%) نسبة وزنية الى (٧٠%) نسبة وزنية يؤدي الى زيادة كثافة المتراب المقوى بالياف الزجاج زيادة طردية من (١.١٩ Mg/m^٣) الى (١.٦٩٧ Mg/m^٣) ، وهذا يطابق تقريبا "النتائج الموضحة في لوحة تدرج بيانات الكثافة للمواد [٣١] ، وذلك بسبب تأثير الياف الزجاج على الروابط التي تربط جزيئات البولي اثيلين لتكوين المتراب الناتج من عملية التقوية ، حيث ان الروابط التي تربط ذرات البولي اثيلين هي عبارة عن روابط فان درفالز الضعيفة والتي تكون السبب في امتلاك البولي اثيلين كثافة واطنة ومعامل يونك واطى ، لذلك فان اضافة الياف الزجاج الى البولي اثيلين يؤدي الى زيادة الكثافة ومعامل يونك بسبب امتلاك الياف الزجاج كثافة اعلى من كثافة البولي اثيلين ومعامل يونك عالٍ والذي يكون السبب فيه الروابط التساهمية التي تربط ذرات الزجاج بعضها مع بعض . والشكل رقم (٤-١٢) يوضح زيادة كثافة المتراب مع زيادة محتوى الالياف من (٣٠%) نسبة وزنية الى (٧٠ %) نسبة وزنية .

جدول رقم (٤-١٤) يوضح نتائج زيادة محتوى الالياف على كثافة المتراكب المدعم بالياف الزجاج بثبوت كثافة مادة البولي اثيلين (0.97 Mg/m^3)	
الكسر الحجمي للالياف	كثافة المتراكب (Mg/m^3)
٠.١٤٣	١.١٩٠
٠.٢٨٠	١.٣٩٨
٠.٤٧٥	١.٦٩٧



شكل رقم (٤-١٢) يوضح العلاقة بين كثافة المتراكب المدعم بالياف الزجاج وزيادة الكسر الحجمي للالياف (زيادة محتوى الالياف) المنضدة بصورة متوازية

وبمقارنة نتائج الكثافة التي تم الحصول عليها للمتراكب المقوى بالياف الكربون والمتراكب المقوى بالياف الزجاج ، نلاحظ ان التقوية بالياف الكربون تؤدي الى الحصول على متراكب بكثافة اوطأ من كثافة المتراكب المقوى بالياف الزجاج ، والسبب يعود الى كثافة المكونات الاصلية للكربون والتي تكون اخف وزنا" من مكونات الزجاج .

اما بالنسبة لزيادة الإجهاد المسلط على المتراكب الناتج من عملية التقوية فانها تؤدي إلى زيادة ابعاد المتراكب وزيادة قابلية استطالته قبل حدوث التصدع وزيادة المساحة السطحية له للحفاظ على حجمه ثابت مما يؤدي إلى تقليل الكثافة وتقليل الوزن .

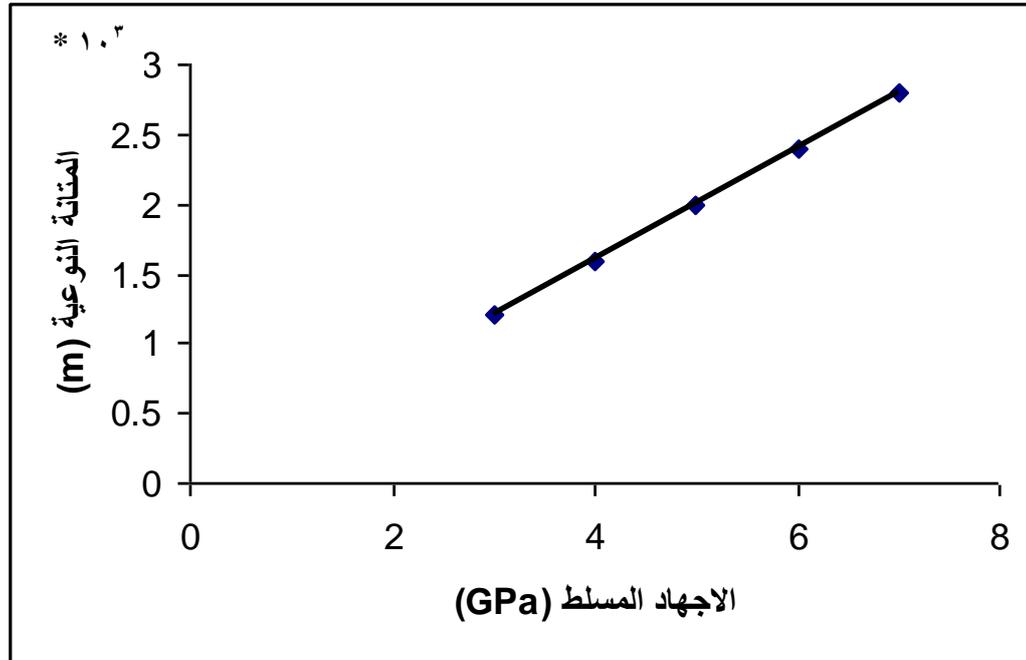
ولزيادة معامل يونك للمتراكب يتم زيادة محتوى الالياف ضمن حدود معينة للحفاظ على النسبة الظاهرية والتي تمثل نسبة طول الليف الى قطره ، حيث يفضل ان تكون هذه النسبة عالية في التطبيقات العملية ، لان الالياف الطويلة تتحمل الاجهاد اكثر من الالياف القصيرة ، حيث ان زيادة محتوى الالياف تكون بزيادة قطر الالياف وحسب المعادلة رقم (٢-٢١) .

اما المتانة النوعية للالياف فقد تم حسابها من معادلة رقم (٢-٣٣) والجدول رقم (٤-١٥) يوضح تاثير زيادة الاجهاد المسلط في المدى (٣ - ٧ GPa) على المتانة النوعية لالياف الزجاج والجدول رقم (٤-١٦) يوضح تاثير زيادة الاجهاد المسلط في المدى (٣-٧ GPa) على المتانة النوعية لالياف الكربون ، حيث توضح الجداول ان المتانة النوعية لكل نوع من الالياف تزداد مع نقصان كثافة الليف وزيادة الاجهاد المسلط ، حيث بزيادة الاجهاد المسلط من (٣ GPa) الى (٧ GPa) تزداد المتانة النوعية من ($1.2 \times 10^3 \text{ m}$) الى

($2.8 \times 10^3 \text{ m}$) بالنسبة لالياف الزجاج ، اما بالنسبة لالياف الكربون بزيادة الاجهاد المسلط من (٣ GPa) الى (٧ GPa) تزداد المتانة النوعية من ($1.7 \times 10^3 \text{ m}$) الى

(3.9×10^3 m) حيث نلاحظ ان المتانة النوعية لالياف الكربون اعلى من المتانة النوعية لالياف الزجاج وذلك لان كثافة الياف الزجاج اعلى من كثافة الياف الكربون ، اما بالنسبة للمتانة النوعية للمترابك المقوى بالياف الزجاج والمترابك المقوى بالياف الكربون فيوضحه الجدول رقم (٤-١٧) ، حيث تزداد المتانة النوعية للمترابك بزيادة الاجهاد المسلط حيث اثبتت النتائج ان المتانة النوعية للمترابك المقوى بالياف الزجاج والمترابك المقوى بالياف الكربون تزداد من (3.09×10^3 m) الى (7.21×10^3 m) بزيادة الاجهاد المسلط من (3 GPa) الى (7 GPa) ، حيث يوضح الجدول ان المترابك المقوى بالياف الكربون والمترابك المقوى بالياف الزجاج يمتلك متانة نوعية متساوية في حالة عدد الالياف ($n=4$) ، لان المترابك المقوى بالياف الكربون والمترابك المقوى بالياف الزجاج يمتلك كثافة متساوية. والشكل رقم (٤-١٣) يوضح العلاقة بين المتانة النوعية والاجهاد المسلط لالياف الزجاج بثبوت كثافة الياف الزجاج (٢.٥ Mg/m^3) ، والشكل رقم (٤-١٤) يوضح العلاقة بين المتانة النوعية والاجهاد المسلط لالياف الكربون بثبوت كثافة الياف الكربون ($1.8 Mg/m^3$) والشكل رقم (٤-١٥) يوضح العلاقة بين المتانة النوعية والاجهاد المسلط للمترابك المقوى بالياف الزجاج والمترابك المقوى بالياف الكربون بثبوت كثافة المترابك ($0.97 Mg/m^3$) في حالة عدد الياف التقوية ($n=4$) .

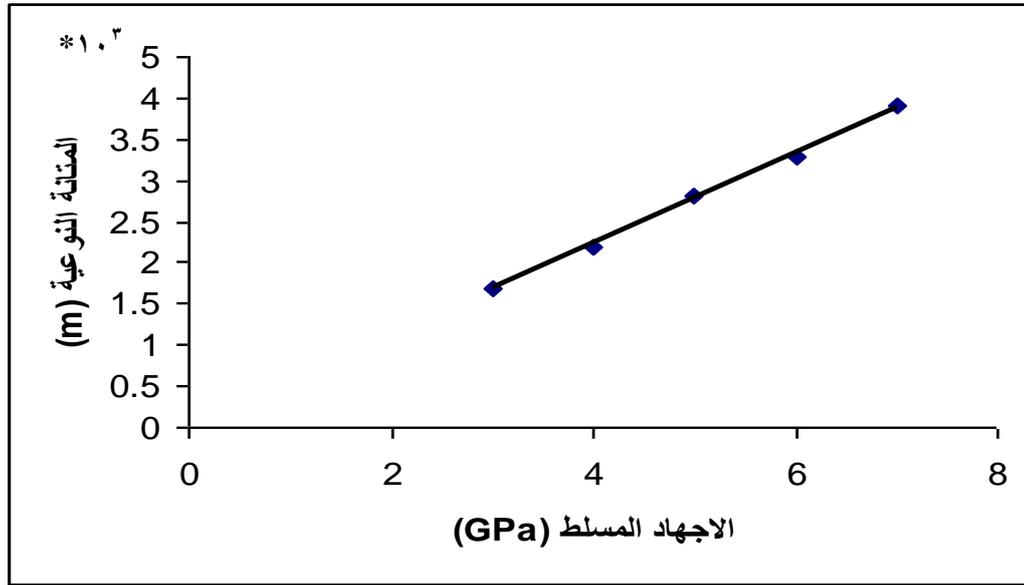
الجدول رقم (٤-١٥) يوضح تأثير زيادة الاجهاد المسلط في المدى (3-7 GPa) على المتانة النوعية لالياف الزجاج بثبوت كثافة الالياف ($2.5 Mg/m^3$)	
الاجهاد المسلط (GPa)	المتانة النوعية * 10^3 (m)
3	1.2
4	1.6
5	2
6	2.4
7	2.8



الشكل رقم (٤-١٣) يوضح العلاقة بين المتانة النوعية والاجهاد المسلط لالياف الزجاج بثبوت كثافة الياف الزجاج (2.5 Mg/m^3)

الجدول رقم (٤-١٦) يوضح تأثير زيادة الاجهاد المسلط في المدى (٣-٧ GPa) على المتانة النوعية لالياف الكربون بثبوت كثافة الالياف (1.8 Mg/m^3)

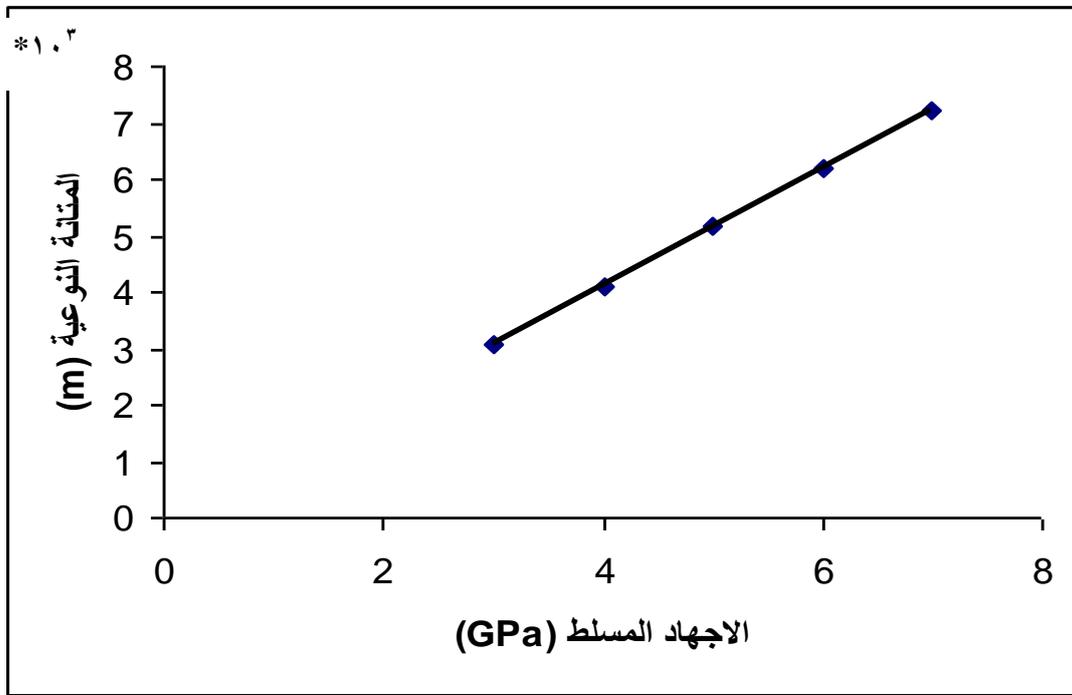
الاجهاد المسلط (GPa)	المتانة النوعية * 10^3 (m)
٣	١.٧
٤	٢.٢
٥	٢.٨
٦	٣.٣
٧	٣.٩



الشكل رقم (٤-١٤) يوضح العلاقة بين المتانة النوعية والاجهاد المسلط لالياف الكربون بثبوت كثافة الياف الكربون (1.8 Mg/m^3)

الجدول رقم (٤-١٧) يوضح تأثير زيادة الاجهاد المسلط في المدى (٣-٧ GPa) على المتانة النوعية للمتراكب المدعم باللياف الزجاج والمتراكب المدعم باللياف الكربون بثبوت كثافة المتراكب (٠.٩٧ Mg/m^3) في حالة عدد الالياف ($n=٤$)

الاجهاد المسلط (GPa)	المتانة النوعية * $١٠^٣$ (m)
٣	٣.٠٩
٤	٤.١٢
٥	٥.١٥
٦	٦.١٨
٧	٧.٢١



الشكل رقم (٤-١٥) يوضح العلاقة بين المتانة النوعية والاجهاد المسلط للمتراكب المدعم باللياف الزجاج والمتراكب المدعم باللياف الكربون بثبوت كثافة المتراكب (٠.٩٧ Mg/m^3) في حالة عدد الالياف ($n=٤$)

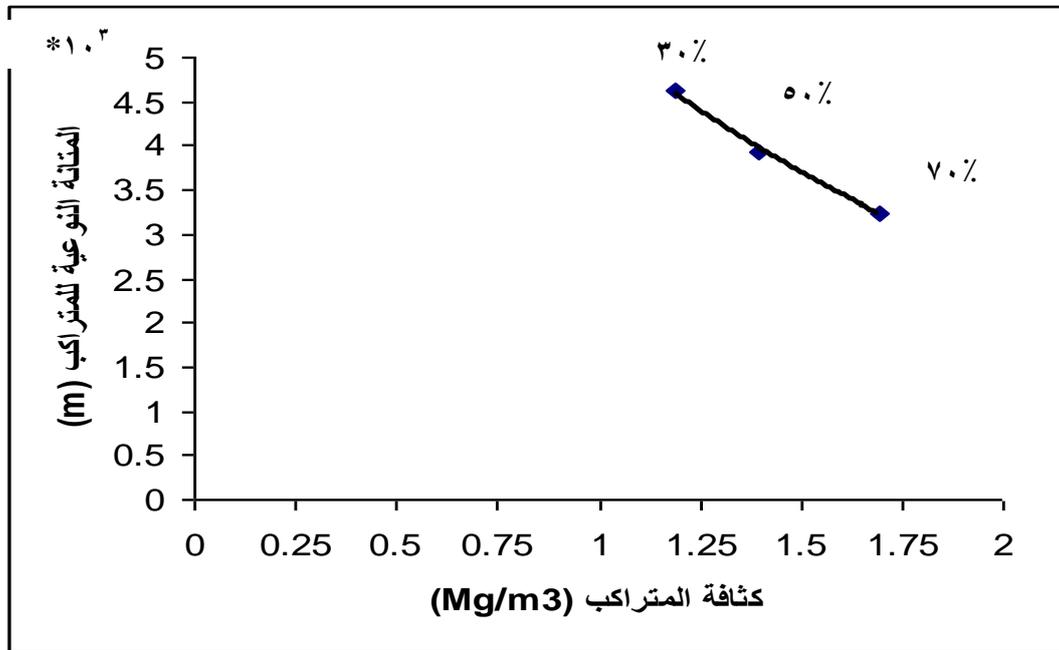
حيث نلاحظ من قيم الجدول رقم (٤-١٧) ان قيم المتانة النوعية متساوية في حالة التقوية باربعة الياف فقط ، حيث يعود السبب الى ثبوت كثافة المادة الناتجة لان التأثير الاكثر ظهورا" يكون للبولي اثيلين (مادة المصفوفة) حسب قاعدة الخلط .

اما بالنسبة لحساب المتانة النوعية للمتراكب المقوى باللياف الزجاج والمتراكب المقوى باللياف الكربون في حالة زيادة النسبة الوزنية للالياف في المتراكب لكلا النموذجين ، فقد تم تثبيت الاجهاد المسلط على المتراكب (٥.٥ GPa) ولكلا النموذجين ، وحسب النتائج الموضحة في

الجدول رقم (٤-١٣) لكثافة المتراكب المقوى باللياف الكربون ، تم حساب المتانة النوعية حسب معادلة رقم (٢-٣٣) والنتائج التي تم الحصول عليها موضحة في الجدول رقم (٤-١٨) بالنسبة للمتراكب المقوى باللياف الكربون .

جدول رقم (٤-١٨) يوضح نتائج زيادة محتوى الاليف على المتانة النوعية للمتراكب المدعم باللياف الكربون بثبوت الاجهاد المسلط على النموذج (٥.٥ GPa)			
النسبة الوزنية للاليف	الكسر الحجمي للاليف	كثافة المتراكب Mg/m^3	المتانة النوعية للمتراكب $(m) \cdot 10^3$
٣٠٪	٠.١٨٨	١.١٢٦	٤.٨٨٥
٥٠٪	٠.٣٥٢	١.٢٦٢	٤.٣٦٥
٧٠٪	٠.٥٥٧	١.٤٣٠	٣.٨٤٦

والشكل رقم (٤-١٦) يوضح العلاقة بين كثافة المتراكب والمتانة النوعية له بثبوت الاجهاد المسلط (٥.٥ GPa) وزيادة النسبة الوزنية للاليف الكربون في المتراكب من (٣٠٪) الى (٧٠٪)

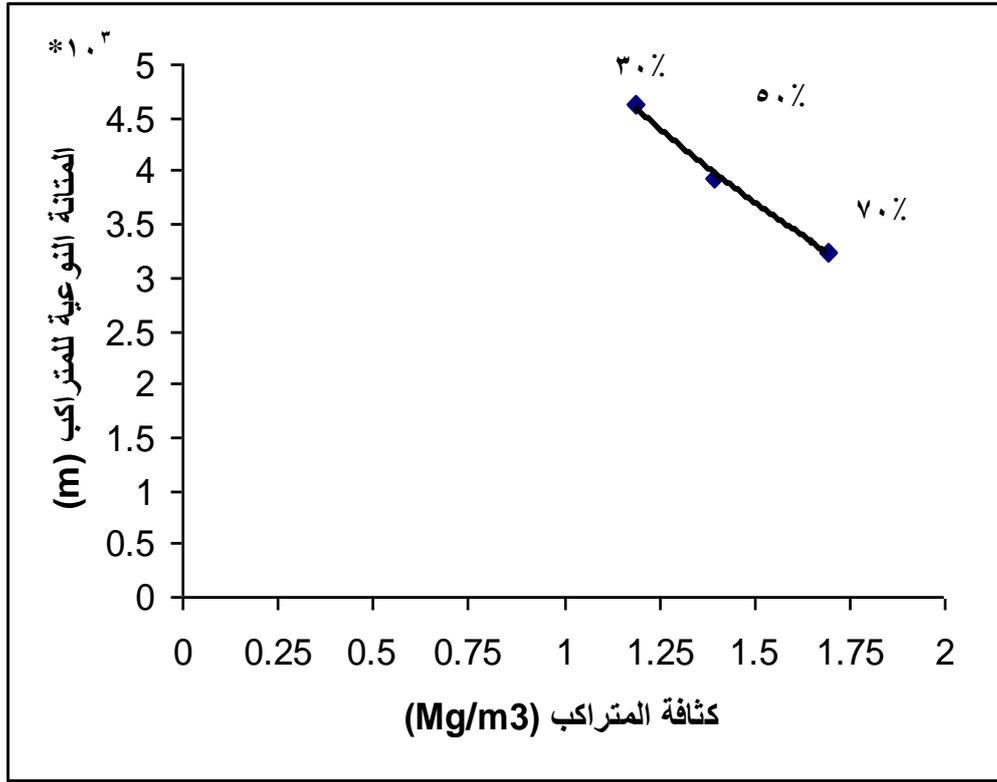


شكل رقم (٤-١٦) يوضح العلاقة بين كثافة المتراكب والمتانة النوعية له بثبوت الاجهاد المسلط (٥.٥ GPa) وزيادة النسبة الوزنية للاليف الكربون في المتراكب من (٣٠٪) الى (٧٠٪) .

اما بالنسبة للمتراكب المقوى باللياف الزجاج ، فالجدول رقم (٤-١٩) يبين النتائج التي تم الحصول عليها من تثبيت الاجهاد المسلط على النموذج المقوى باللياف الزجاج (٥.٥ GPa) وحسب الجدول رقم (٤-١٢) لكثافة المتراكب الناتجة من زيادة النسبة الوزنية للاليف الزجاج في المتراكب من (٣٠٪) الى (٧٠٪) تم حساب المتانة النوعية للمتراكب وحسب المعادلة رقم (٢-٣٣) والشكل رقم (٤-١٧) يوضح العلاقة بين كثافة المتراكب المقوى باللياف الزجاج والمتانة النوعية له بثبوت الاجهاد المسلط (٥.٥ GPa) وزيادة النسبة الوزنية للاليف الزجاج في المتراكب من (٣٠٪) الى (٧٠٪) .

جدول رقم (٤-١٩) يوضح نتائج زيادة محتوى الاليف على المتانة النوعية للمتراكب

المدعم باللياف الزجاج بثبوت الاجهاد المسلط على النموذج (٥.٥ GPa)			
النسبة الوزنية للالياف	الكسر الحجمي للالياف	كثافة المترابك (Mg/m ³)	المتانة النوعية للمترابك *١٠ ^٣ (m)
٣٠٪	٠.١٤٣	١.١٩٠	٤.٦٢
٥٠٪	٠.٢٨٠	١.٣٩٨	٣.٩٣
٧٠٪	٠.٤٧٥	١.٦٩٧	٣.٢٤



الشكل رقم (٤-١٧) يوضح العلاقة بين كثافة المترابك المدعم باللياف الزجاج والمتانة النوعية له بثبوت الاجهاد المسلط (٥.٥ GPa) وزيادة النسبة الوزنية لالياف الزجاج في المترابك من (٣٠٪) الى (٧٠٪)

وبمقارنة جدول رقم (٤-١٨) مع جدول رقم (٤-١٩) نلاحظ ان المتانة النوعية للمترابك المقوى باللياف الكربون اعلى من المتانة النوعية للمترابك المقوى باللياف الزجاج ، وذلك لان كثافة المترابك المقوى باللياف الكربون اوطا من كثافة المترابك المقوى باللياف الزجاج وذلك لان المترابك المقوى باللياف الكربون اخف وزنا" من المترابك المقوى باللياف الزجاج ، والعائد الى خفة وزن مكونات المترابك المقوى باللياف الكربون والتي تتالف من الياف الكربون ومادة البولي اثيلين ، حيث ان الياف الكربون تكون اخف وزنا" من الياف الزجاج ، كما نلاحظ ان المتانة النوعية للمترابك ولكلا النموذجين تقل مع زيادة النسبة الوزنية للالياف في المترابك ، حيث تقل المتانة النوعية بالنسبة للمترابك المقوى باللياف الكربون من (٤.٨٨٥ * ١٠^٣ m) الى (٣.٨٤٦ * ١٠^٣ m) بزيادة النسبة الوزنية للالياف من (٣٠٪) الى (٧٠٪) وكما موضح في الجدول رقم (٤-١٨) والشكل رقم (٤-١٦) ، اما بالنسبة للمترابك المقوى باللياف الزجاج

تقل المتانة النوعية من ($10^3 \text{ m} \cdot 4.62$) إلى ($10^3 \text{ m} \cdot 3.24$) بزيادة النسبة الوزنية للالياف من (٣٠٪) إلى (٧٠٪) وكما موضح في الجدول رقم (٤-١٩) والشكل رقم (٤-١٧).

٤-٤ نتائج تأثير زيادة الإجهاد المسلط على الانفعال للالياف و للمتراكب المدعم بألياف الزجاج و المتراكب المدعم بألياف الكربون

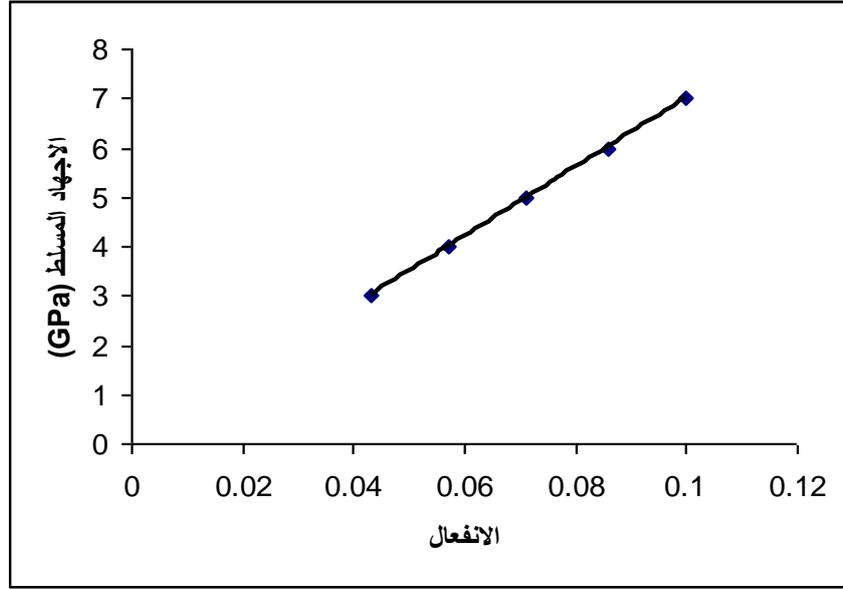
لقد تم دراسة تأثير زيادة الإجهاد المسلط على انفعال الألياف لكل نوع من الألياف وذلك بثبوت معامل يونك لكل نوع من الالياف وحسب جدول الثوابت رقم (٢-٣) حيث تم تغيير الإجهاد المسلط في المدى الذي يتراوح بين ($3-7 \text{ GPa}$) تم حساب الانفعال لكل نوع من الألياف حسب العلاقة (٢-٨) حيث أثبتت النتائج زيادة انفعال الألياف بزيادة الإجهاد المسلط بسبب زيادة قابلية الذرات على الحركة وكذلك امتصاص اكبر قدر ممكن من الطاقة مما يؤدي إلى زيادة استطالة الألياف والذي بدوره يؤدي إلى زيادة الانفعال .

والجدول رقم (٤-٢٠) يوضح العلاقة بين الإجهاد المسلط والانفعال لألياف الزجاج بثبوت معامل يونك لألياف الزجاج (70 GPa) .

والجدول رقم (٤-٢١) يوضح العلاقة بين الإجهاد المسلط والانفعال لألياف الكربون بثبوت معامل يونك لألياف الكربون (250 GPa) ، والشكل رقم (٤-١٨) يوضح العلاقة بين زيادة الإجهاد المسلط وانفعال الألياف لألياف الزجاج. حيث يوضح الشكل انه بزيادة الاجهاد المسلط من (3 GPa) إلى (7 GPa) يؤدي الى زيادة الانفعال زيادة طردية من (0.043) الى (0.1). والشكل رقم (٤-١٩) يوضح العلاقة بين زيادة الإجهاد المسلط وانفعال الألياف لألياف الكربون . حيث يوضح الشكل انه بزيادة الاجهاد المسلط من (3 GPa) الى (7 GPa) يؤدي الى زيادة الانفعال زيادة طردية من (0.012) الى (0.028) .

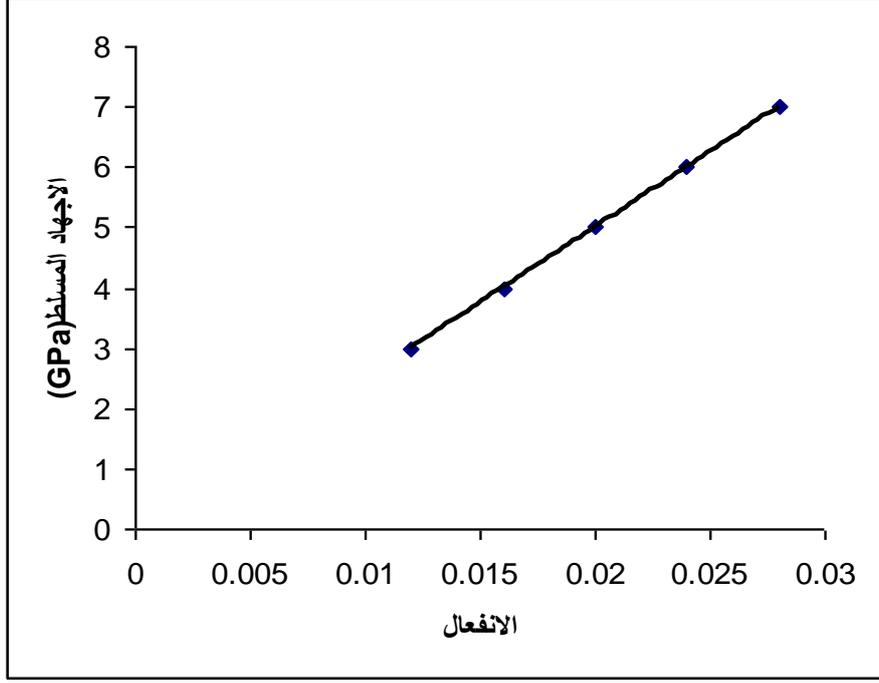
الجدول رقم (٤-٢٠) يوضح العلاقة بين الإجهاد المسلط والانفعال لألياف الزجاج بثبوت معامل يونك لألياف الزجاج (70 GPa)

الإجهاد (GPa)	الانفعال
٣	٠.٠٤٣
٤	٠.٠٥٧
٥	٠.٠٧١
٦	٠.٠٨٦
٧	٠.١



الشكل رقم (١٨-٤) يوضح العلاقة بين زيادة الإجهاد المسلط وانفعال الألياف لألياف الزجاج بثبوت معامل يونغ لألياف الزجاج (٧٠ GPa) .

الجدول رقم (٤-٢١) يوضح العلاقة بين الإجهاد المسلط والانفعال لألياف الكربون بثبوت معامل يونغ لألياف الكربون (٢٥٠ Gpa)	
الانفعال	الإجهاد (GPa)
٠.٠١٢	٣
٠.٠١٦	٤
٠.٠٢	٥
٠.٠٢٤	٦
٠.٠٢٨	٧



الشكل رقم (٤ - ١٩) يوضح العلاقة بين زيادة الإجهاد المسلط وانفعال الألياف

لألياف الكربون بثبوت معامل يونك لألياف الكربون (٢٥٠ GPa)

اما بالنسبة لحساب انفعال المترابك المقوى بالألياف المنضدة بصورة متوازية والاجهاد مسلط بصورة عمودية عليها ، فقد تم حساب معامل يونك للمترابك من معادلة رقم (٢-١) حسب قاعدة الخلط ، ثم تم حساب الانفعال من خلال معادلة رقم (٢-٨) ، والجدول رقم (٤-٢٢) يبين النتائج التي تم الحصول عليها من تقوية البولي اثيلين بالياف الزجاج والبولي اثيلين المقوى بالياف الكربون المنضدة بصورة متوازية والحمل مسلط بصورة عمودية عليها عندما عدد الياف التقوية (n=٤) . حيث يبين الجدول انه بزيادة الإجهاد المسلط من

(٣ GPa) الى (٧ GPa) يزداد الانفعال بصورة طردية من (٠.٣٧٥) الى (٠.٨١٥) بثبوت معامل يونك للنموذج والسبب في ذلك يعود إلى إن زيادة قيمة الإجهاد المسلط تؤدي إلى زيادة استطالة النموذج والذي يؤدي إلى زيادة قيمة الانفعال ، والشكل رقم (٤-٢٠) يوضح العلاقة بين زيادة الإجهاد المسلط بصورة عمودية على الألياف والانفعال للمترابك المقوى بألياف الزجاج والمترابك المقوى بالياف الكربون بثبوت عدد الياف التقوية (n=٤) . حيث يوضح الشكل انه بزيادة الاجهاد المسلط من (٣GPa) إلى (٧ GPa) يؤدي إلى زيادة الانفعال زيادة طردية من (٠.٣٧٥) الى (٠.٨١٥) .

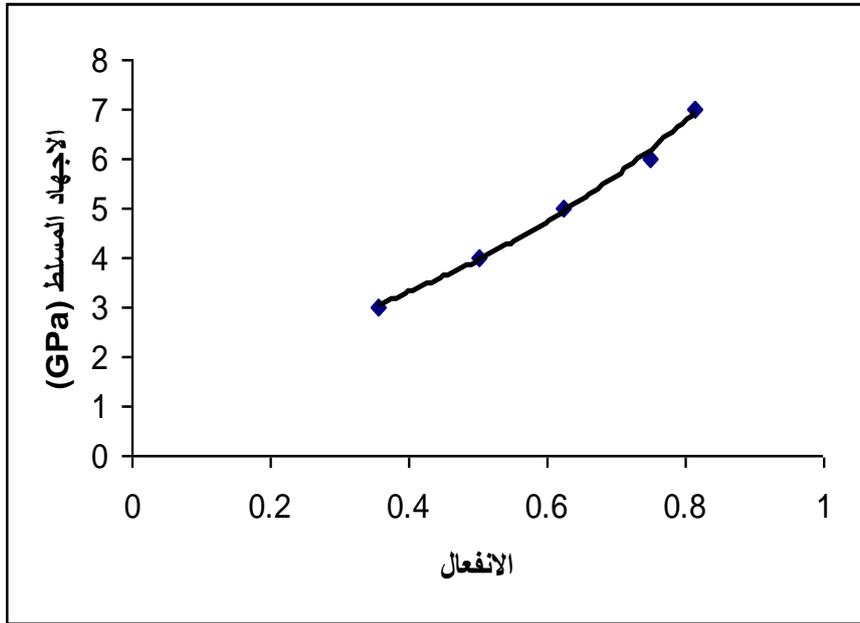
الجدول رقم (٤ - ٢٢) يوضح العلاقة بين الإجهاد المسلط والانفعال للمترابك

المدعم بألياف الزجاج والمترابك المدعم بالياف الكربون بثبوت معامل يونك للمترابك

(٨ GPa) بثبوت عدد الياف التقوية (n=٤)

الانفعال	الإجهاد (GPa)
٠.٣٧٥	٣
٠.٥	٤
٠.٦٢٥	٥

٠.٧٥	٦
٠.٨١٥	٧

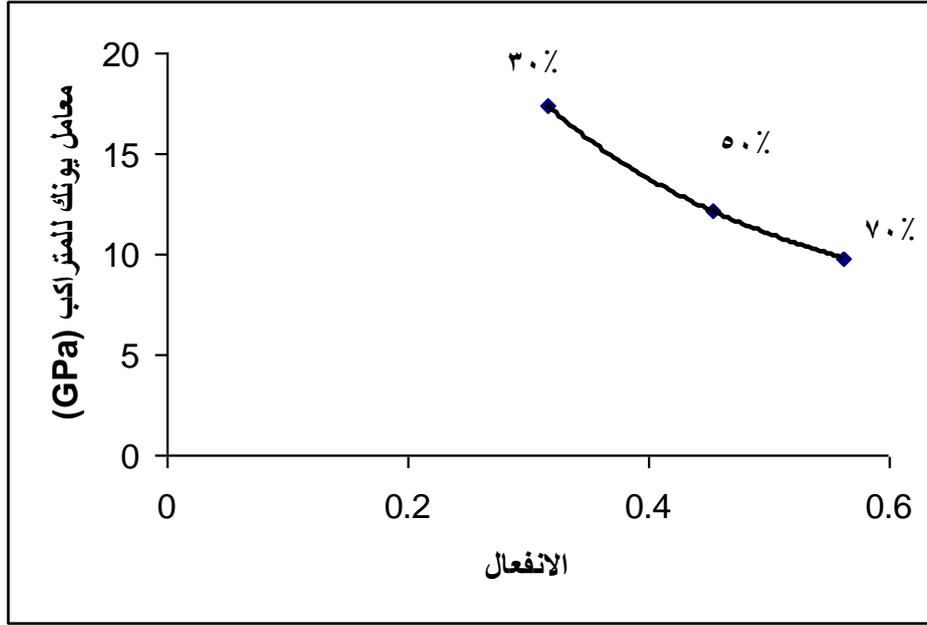


الشكل رقم (٤-٢٠) يوضح العلاقة بين زيادة الإجهاد المسلط وانفعال المترابك المدعم باللياف الزجاج والمترابك المدعم باللياف الكربون بثبوت معامل يونك للمترابك (٨ GPa) بثبوت عدد اليفات التقوية (n=٤).

حيث نلاحظ ان قيم الانفعال الناتجة من التقوية باربعة اليفات فقط والموضحة في الجدول رقم (٤-٢٢) متساوية لكلا النموذجين المقوى باليفات الكربون والمقوى باليفات الزجاج ولنفس السبب السابق ذكرة في حساب المتانة النوعية .

اما بالنسبة لزيادة النسبة الوزنية لللياف من (٣٠٪) الى (٧٠٪) في المترابك فانها تؤدي الى زيادة معامل يونك للمترابك ولكلا النموذجين وحسب الجداول رقم (٤-١٠) و (٤-١١) ولكلا النموذجين ، ولدراسة انفعال المترابك تم تثبيت الاجهاد المسلط بصورة عمودية على الاليف المنضدة بشكل متواز (٥.٥ GPa) وتغيير معامل يونك حسب الجدول رقم (٤-١١) بالنسبة للمترابك المقوى باليفات الكربون تم حساب الانفعال حسب المعادلة (٢-٨) والنتائج موضحة في الجدول رقم (٤-٢٣) والشكل رقم (٤-٢١)

جدول رقم (٤-٢٣) يوضح نتائج زيادة معامل يونك على انفعال المترابك الناتج من زيادة محتوى الاليف للمترابك المدعم باليفات الكربون في حالة ثبوت الاجهاد المسلط بصورة عمودية على الاليف (٥.٥ GPa)			
النسبة الوزنية للاليف	الكسر الحجمي للاليف	معامل يونك (GPa)	الانفعال
٣٠٪	٠.١٨٨	٩.٨	٠.٥٦١
٥٠٪	٠.٣٥٢	١٢.١٣٤	٠.٤٥٣
٧٠٪	٠.٥٥٧	١٧.٣٦	٠.٣١٧



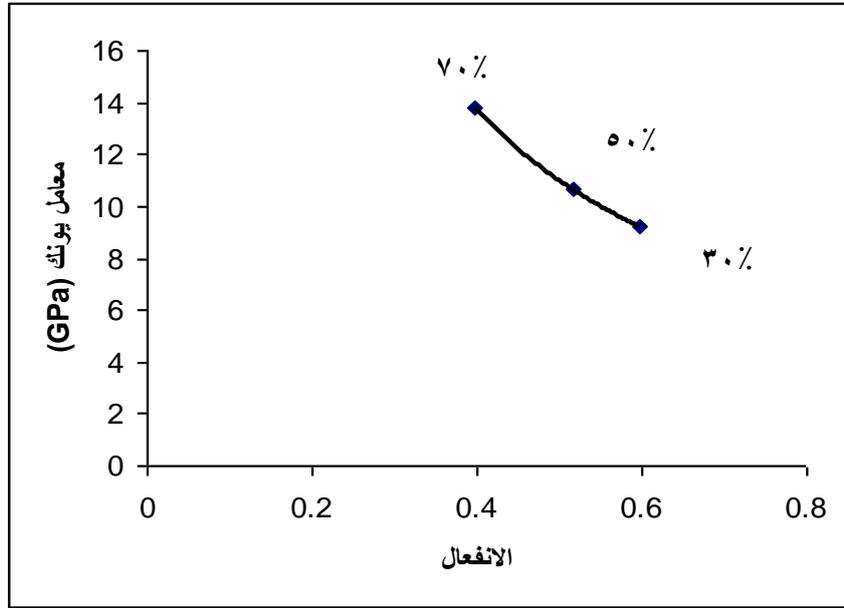
الشكل رقم (٤-٢١) يوضح العلاقة بين انفعال المترابك ومعامل يونك للمترابك المدعم باللياف الكربون بثبوت الاجهاد المسلط بصورة عمودية على الالياف المنضدة بشكل متوازٍ (5.5 GPa) وزيادة النسبة الوزنية للالياف من (٣٠٪) الى (٧٠٪)

حيث يوضح الجدول رقم (٤-٢٣) ان انفعال المترابك يقل مع زيادة معامل يونك والسبب في ذلك هو ان زيادة معامل يونك تؤدي الى تقليل قابلية الذرات على الحركة بسبب نقصان المسافات البينية بين الذرات واعاققتها من قبل ذرات اليف الكربون المضافة الى مادة البولي اثيلين ، والذي يؤدي الى تقليل انفعال المترابك وكما موضح في الشكل (٤-٢١) حيث تشير النتائج الى نقصان انفعال المترابك من (٠.٥٦١) الى (٠.٣١٧) بزيادة معامل يونك للمترابك من (٩.٨) GPa الى (١٧.٣٦ GPa) والنتائج بسبب زيادة النسبة الوزنية للالياف (محتوى الالياف) من (٣٠٪) الى (٧٠٪) .

اما بالنسبة للمترابك المدعم باليف الزجاج فقد تم تثبيت الاجهاد المسلط بصورة عمودية على الالياف المنضدة بصورة متوازية (5.5 GPa) وتغيير معامل يونك حسب الجدول رقم (٤-١٠) بالنسبة للمترابك المقوى باليف الزجاج وتم حساب الانفعال حسب المعادلة (٢-٨) والنتائج موضحة في الجدول رقم (٤-٢٤) والشكل رقم (٤-٢٢)

جدول رقم (٤-٢٤) يوضح نتائج زيادة معامل يونك على انفعال المترابك الناتج من زيادة محتوى الالياف للمترابك المدعم باليف الزجاج في حالة ثبوت الاجهاد المسلط بصورة عمودية على الالياف (5.5 GPa)			
النسبة الوزنية للالياف	الكسر الحجمي للالياف	معامل يونك (GPa)	الانفعال
٣٠٪	٠.١٤٣	٩.٢	٠.٥٩٨
٥٠٪	٠.٢٨	١٠.٦٤	٠.٥١٧
٧٠٪	٠.٤٧٥	١٣.٨١	٠.٣٩٨

حيث يوضح الجدول رقم (٤-٢٤) ان انفعال المتراكب يقل مع زيادة معامل يونك للمتراكب ولنفس السبب السابق ذكره في عملية التقوية باللياف الكربون وكما موضح في الشكل (٤-٢٢) حيث تشير النتائج الى نقصان انفعال المتراكب من (٠.٥٩٨) الى (٠.٣٩٨) بزيادة معامل يونك للمتراكب من (٩.٢ GPa) الى (١٣.٨١ GPa) والنتائج بسبب زيادة النسبة الوزنية للالياف (محتوى الالياف) من (٣٠٪) الى (٧٠٪).



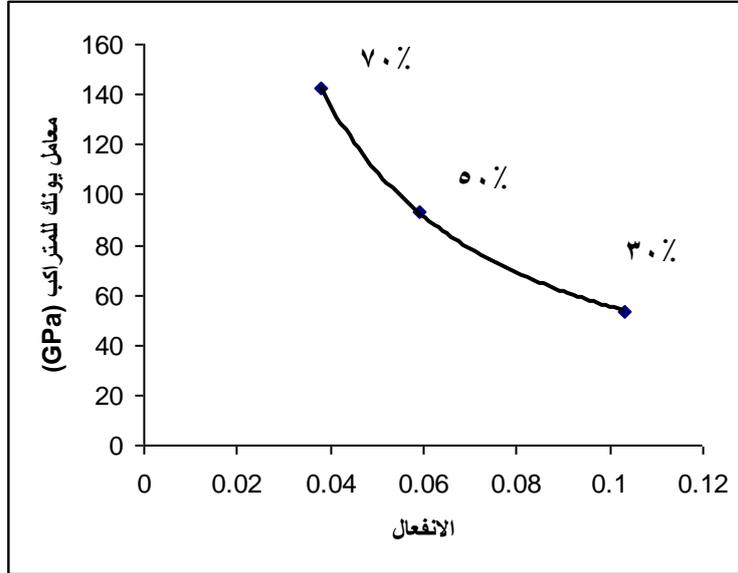
الشكل رقم (٤-٢٢) يوضح العلاقة بين انفعال المتراكب ومعامل يونك للمتراكب المدعم باللياف الزجاج بثبوت الاجهاد المسلط بصورة عمودية على الالياف (٥.٥ GPa) وزيادة النسبة الوزنية للالياف من (٣٠٪) الى (٧٠٪)

وبمقارنة انفعال المتراكب المقوى باللياف الكربون مع انفعال المتراكب المقوى باللياف الزجاج جدول رقم (٤-٢٣) وجدول رقم (٤-٢٤)، نلاحظ ان انفعال المتراكب المقوى باللياف الزجاج اكبر من انفعال المتراكب المقوى باللياف الكربون، لان معامل يونك للمتراكب المقوى باللياف الكربون اعلى من معامل يونك للمتراكب المقوى باللياف الزجاج، وهذا يدل على زيادة جساءة المتراكب المقوى باللياف الكربون بصورة اكبر من المتراكب المقوى باللياف الزجاج لانه كلما كان الاجهاد اللازم لاجداث انفعال صغير في جسم ما كبيرا" يدل على جساءة الجسم. اما بالنسبة للاجهاد المسلط بصورة موازية للالياف المنضدة بصورة متوازية في المتراكب، فقد تم دراسة انفعال المتراكب ولكلا النموذجين المقوى باللياف الكربون والمقوى باللياف الزجاج وذلك حسب المعادلة (٢-٨) وبثبوت الاجهاد المسلط بصورة موازية للالياف (٥.٥ GPa)، وبتغيير معامل يونك للمتراكب حسب الجداول رقم (٤-١٢) و (٤-١٣) ولكلا النموذجين، ويوضح الجدول رقم (٤-٢٥) النتائج التي تم الحصول عليها للمتراكب المقوى باللياف الكربون

جدول رقم (٤-٢٥) يوضح نتائج زيادة معامل يونك على انفعال المتراكب الناتج من زيادة محتوى الالياف للمتراكب المدعم باللياف الكربون في حالة ثبوت الاجهاد المسلط بصورة موازية للالياف (٥.٥ GPa)

الانفعال	معامل يونك (GPa)	الكسر الحجمي للالياف
----------	--------------------	----------------------

٠.١٨٨	٥٣.٤٩٦	٠.١٠٣
٠.٣٥٢	٩٣.١٨٤	٠.٠٥٩
٠.٥٥٧	١٤٢.٧٩٤	٠.٠٣٨



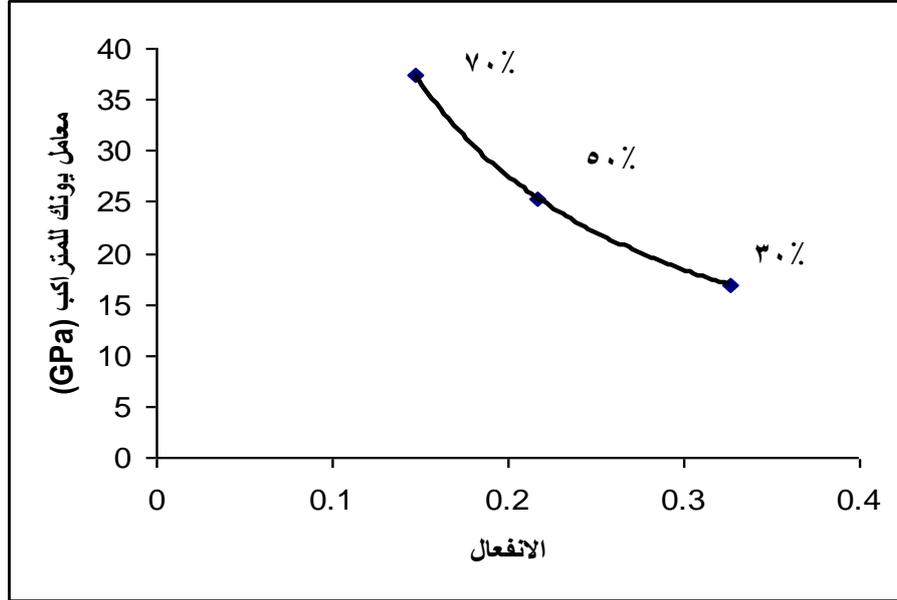
الشكل رقم (٤-٢٣) يوضح العلاقة بين زيادة معامل يونك و انفعال المترابك الناتج من زيادة محتوى الالياف للمترابك المدعم بالياف الكربون في حالة ثبوت الاجهاد المسلط بصورة موازية للالياف (٥.٥ GPa)

حيث يوضح الجدول رقم (٤-٢٥) ان انفعال المترابك يقل مع زيادة معامل يونك ولنفس السبب السابق ذكره في حالة التقوية عندما يكون الاجهاد مسلطاً بصورة عمودية على الالياف وكما موضح في الشكل (٤-٢٣) حيث تشير النتائج الى نقصان انفعال المترابك من (٠.١٠٣) الى (٠.٠٣٨) بزيادة معامل يونك للمترابك من (٥٣.٤٩٦ GPa) الى (١٤٢.٧٩٤ GPa) والناتج بسبب زيادة النسبة الوزنية للالياف (محتوى الالياف) من (٣٠٪) الى (٧٠٪).

اما بالنسبة للمترابك المقوى بالياف الزجاج ، فقد اثبتت النتائج الموضحة في الجدول رقم (٤-٢٦) ان انفعال المترابك يقل مع زيادة معامل يونك وذلك حسب المعادلة (٢-٨) وبثبوت الاجهاد المسلط بصورة موازية للالياف (٥.٥ GPa) ، وبتغيير معامل يونك للمترابك حسب الجدول (٤-١٢) ، ولنفس السبب السابق ذكره في عملية التقوية بالياف الكربون وكما موضح في الشكل (٤-٢٤) حيث تشير النتائج الى نقصان انفعال المترابك من (٠.٣٢٦) الى (٠.١٤٧) بزيادة معامل يونك للمترابك من (١٦.٨٦٦ GPa) الى (٣٧.٤٥ GPa) والناتج بسبب زيادة النسبة الوزنية للالياف (محتوى الالياف) من (٣٠٪) الى (٧٠٪).

جدول رقم (٤-٢٦) يوضح نتائج زيادة معامل يونك على انفعال المترابك الناتج من زيادة محتوى الالياف للمترابك المدعم بالياف الزجاج في حالة ثبوت الاجهاد المسلط بصورة موازية للالياف (٥.٥ GPa)		
انفعال المترابك	معامل يونك (GPa)	الكسر الحجمي للالياف

٠.٣٢٦	١٦.٨٦٦	٠.١٤٣
٠.٢١٧	٢٥.٣٦	٠.٢٨
٠.١٤٧	٣٧.٤٥	٠.٤٧٥



الشكل رقم (٤-٢٤) يوضح العلاقة بين زيادة معامل يونك و انفعال المترابك الناتج من زيادة محتوى الالياف للمترابك المدعم بالياف الزجاج في حالة ثبوت الاجهاد المسلط بصورة موازية للالياف (٥.٥ GPa)

وبمقارنة جدول رقم (٤-٢٥) و (٤-٢٦) نلاحظ ان انفعال المترابك المدعم بالياف الزجاج اكبر من انفعال المترابك المدعم بالياف الكربون ، وذلك لان معامل يونك للمترابك المدعم بالياف الكربون اعلى من معامل يونك للمترابك المدعم بالياف الزجاج ، وهذا يدل على زيادة جساءة المترابك المقوى بالياف الكربون بصورة اكبر من المترابك المقوى بالياف الزجاج لانه كلما كان الاجهاد اللازم لاحداث انفعال صغير في جسم ما كبيرا" يدل على جساءة الجسم. كما تشير هذه النتائج الى انه يفضل استخدام الياف الكربون في عملية التقوية بدلا" من الياف الزجاج في الحالة التي يكون المرغوب فيها التقليل من الطاقة السطحية للتصدع ، أي استخدام مترابك بمتانة عالية ووزن واطى ، اى الحصول على نسبة عالية من (المتانة / الوزن) والتي يفضل ان تكون عالية في التطبيقات العملية.

كما يفضل استخدام الياف الزجاج في عملية التقوية في الحالة التي يكون المرغوب فيها الحصول على كسر سريع كالحالة التي تحصل في فواصل الطاقة الكهربائية .

٤-٥ الاستنتاجات:

في هذه الدراسة حاولنا معرفة مدى تأثير كل من قطر الألياف ومحتوى الألياف والإجهاد المسلط على الطاقة السطحية للتصدع لمتراكب معزز بنوعين من الألياف وكذلك معرفة تأثير التقوية على كل من معامل يونك والكثافة ، والمتانة النوعية للمتراكب الناتج وتم التوصل إلى النتائج التالية :

١- إن زيادة قيمة الإجهاد المسلط تؤدي إلى زيادة الطاقة السطحية للتصدع لحين حصول التصدع عند الانفتاح التام للشق ، كما إن زيادة كل من قطر الألياف ومحتوى الألياف تؤدي إلى زيادة الطاقة السطحية للتصدع ، 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 الطاقة السطحية للتصدع . حيث بزيادة الاجهاد المسلط على المتراكب المقوى باللياف الزجاج من (٣ GPa) إلى (٧ GPa) تزداد الطاقة السطحية للتصدع من ($10^{-9} * 137$) إلى ($10^{-9} * 4413$) ، أما المتراكب المقوى باللياف الكربون فانه بزيادة الاجهاد المسلط من (٣ GPa) إلى (٧ GPa) تزداد الطاقة السطحية للتصدع من ($10^{-9} * 3$) إلى ($10^{-9} * 41$) ($GPa.cm^3$) حيث تمت القياسات بثبوت معامل يونك لكل من اليف الكربون واليف الزجاج حسب جدول الثوابت رقم (٢-٣) ، وثبوت عدد اليف التقوية اربعة اليف لكل نموذج وثبوت اجهاد القص لكلا النموذجين .

٢- 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 الكربون .

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

٤- عملية التقوية بالألياف تؤدي إلى الحصول على متراكب ذو كثافة واطئة مما يؤدي إلى تقليل وزن المتراكب وهذا يفضل في التطبيقات العملية ، حيث في حالة التقوية باليف الكربون واليف الزجاج تم الحصول على متراكب بكثافة متساوية مقدارها ($0.97 Mg/m^3$) في حالة عدد اليف التقوية ($n=4$) وبزيادة النسبة الوزنية للاليف من (٣٠ %) إلى (٧٠ %) تزداد كثافة المتراكب المقوى باللياف الزجاج من ($1.19 Mg/m^3$) إلى ($1.697 Mg/m^3$) ، بينما في حالة المتراكب المقوى باليف الكربون تزداد الكثافة من ($1.126 Mg/m^3$) إلى ($1.43 Mg/m^3$) بزيادة النسبة الوزنية للاليف من (٣٠ %) إلى (٧٠ %) ، حيث يفضل استخدام اليف الكربون في الحالة التي يكون المرغوب فيها استخدام متراكب بوزن واطئ (كثافة واطئة).

٥- للحصول على متانة نوعية عالية للمتراكب يفضل التقوية باللياف المواد التي تمتلك كثافة واطنة حيث ان التقوية باللياف الزجاج واللياف الكربون ادت الى الحصول على متانة نوعية للمتراكب متساوية في حالة عدد اليف التقوية (n=٤) مقدارها (٣.٠٩) (10^3 m) * في حالة الاجهاد المسلط (٣ GPa) وازدادت القيمة الى * (٧.٢١) (10^3 m) بزيادة الاجهاد المسلط الى (٧ GPa) . وتقل المتانة النوعية بزيادة النسبة الوزنية للالياف من (٣٠%) الى (٧٠%) التي تؤدي الى زيادة كثافة المتراكب ، حيث تقل من ($10^3 \text{ m} * ٤.٨٨٥$) الى ($10^3 \text{ m} * ٣.٨٤٦$) في حالة التقوية باللياف الكربون ، وتقل من ($10^3 \text{ m} * ٤.٦٢$) الى ($10^3 \text{ m} * ٣.٢٤$) في حالة التقوية باللياف الزجاج في حالة ثبوت الاجهاد المسلط (٥.٥GPa) . حيث يفضل استخدام اليف الكربون في التقوية في الحالة التي يكون المرغوب فيها متراكب بمتانة نوعية عالية .

٤-٦ المشاريع المستقبلية :

- ١- دراسة حالة التقوية بالالياف عندما يكون شكل الالياف بشكل ظفائر محاكة .
- ٢- اشتقاق معادلة الطاقة السطحية للتصدع عندما يكون الاجهاد بشكل مواز للالياف.
- ٣- تطبيق المعادلات المشتقة على مواد اخرى ومعرفة تطبيقاتها العملية .
- ٤- التقوية باليف غير اليف الزجاج

References

المصادر

- ١ –Cratchley and Baker "The Tensile Strength of a Silica Fiber Reinforced Aluminium Alloy". Rolls-Royce, Ltd., Advanced Research.(١٩٦٤)
- ٢- David "Introduction to Composite Materials". Cambridge University, England. (٢٠٠٠)
- ٣ – علي إبراهيم مسلم الموسوي " دراسة استخدام مادة ثالث اوكسيد الانتيمون كمادة معيقة للهب " ، رسالة ماجستير ، قسم هندسة المواد ، كلية الهندسة ، جامعة بابل ، (٢٠٠٣) .
- ٤- د. عبد الفتاح محمود طاهر " اساسيات علم وتقنية البلمرات " دار المريخ للنشر، الرياض – المملكة العربية السعودية. (٢٠٠٠)
- ٥ – Abid AL-Raheem "Stress Analysis of Laminate Fiber Reinforced Composite Cylinder" M.s.c. Material Engineering. (٢٠٠٠)
- ٦ – Jones"Mechanics of Composite Materials", Scripta Book Company, New York. (١٩٧٥)
- ٧– Haneen "Micromechanics Analysis of Unidirectional Fiber Reinforced Material ". M.Sc. Thesis College of Engineering , Material Engineering .Babylon University, (٢٠٠٢)
- ٨ –Bolton " Engineering Materials Technology " , ٣rd Edition , Mc Graw – Hill , New York . (١٩٩٨)
- ٩ – Krishan & Mare "Mechanical Behavior of Materials" , Prentice Hall, Upper Saddle River , New Jersey, USA.(١٩٩٩)
- ١٠ – Lekhnitskii "Theory of Elasticity of an Anisotropic Body" , ٢nd Edition , Moscow . (١٩٨١)
- ١١ – Stephen & Thomas Hahn Washington University "Introduction of Composite Materials". (١٩٨٠)
- ١٢ – Hashin "Analysis of Composite Materials – a Survey", ASME., (١٩٨٣)
- ١٣- Mindlin. "Influence of Rotary Inertia and shear deformation of Flexural Motion of Isotropic Elastic Plates " (١٩٥١)
- ١٤- Cooper and Kelly " Tensile Properties of Fiber Reinforced Metals: Fracture Mechanics ". Department of Metallurgy, University of Cambridge. (١٩٦٧)

١٥- Piggott "Theoretical Estimation of Fracture Toughness of Fiber Composite" Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry of Toronto, Canada. (١٩٧٠)

١٦ - Barker and Dana "Three Dimensional Finite Element Analysis of Laminated Composites" comp strut pergamon press. (١٩٧٢)

١٧ - Panda & Natrajan" Finite Element Analysis of Laminated sell of Revolution "comp. strut. pergamon press.(١٩٧٦) .

١٨- Lee "Three Dimensional Finite Element Analysis of Layered Fiber – Reinforced Composite " . (١٩٨٠)

١٩-Theodore "Flakeborard Fracture Surface Observation and Correlation with Orthotropic Failure Criteria " , Journal of the Institute of Wood Science , December ,(١٩٨٤)

٢٠– Lows "Micromechanical Aspects of the Fiber- Coment Bound", Composites, April, Butter worth & Co (publishers) \td.(١٩٨٢)

٢١- Nahas "Analysis of Non-Linear Stress – Strain Respones of Laminated Fiber – Reinforced Composites Fiber sci. Techp.

٢٢ – Zhang & Evens "Numercal Predection of the Mechanical Properties of Anistropic Composite Materials". Comp. and Struct., (١٩٨٨)

٢٣- Row & Paul "Stress Analysis Around Circular Holes in FRP Laminates Under Transverse Load " Comp. & Struct., (١٩٨٩)

٢٤ – Shuguang "On the Unit Cell for Micromechanical Analysis of Fiber – Reinforced Composites " , (١٩٩٩)

٢٥ - ف- بوش ، فرانسييس جنكيز "أساسيات الفيزياء" دار ماكجروهيل للنشر (١٩٧٢)

٢٦- Dived Department of Materials Science And Engineering.

"Yeild and Plastic Flow" (October ١٥, ٢٠٠١)

٢٧- Dinial. Illinois Institute of Technology "Composite Materials Testing and Design" Sixth Conference May (١٩٨١)

٢٨ – Heinrich. & Stefan. "The Importance of In tumescent System for Fire Protection of Plastic Materials " , Polymers International ٤٩,(٢٠٠٠)

٢٩ – Robert. "Applied Strength of Materials", ٣rd Edition, Prentice – Hall, New Jersey, Columbus, Ohio. (١٩٩٦)

٣٠- Gerald "Reinforced Plastics for Commercial Composites" (١٩٨٦)

٣١- اشبي " المواد الهندسية مدخل لخواصها وتطبيقاتها " (١٩٨٥)

٣٢- Valery & Evgeny"Michanics and Analysis of Composite Materials" Amsterdam. London. (٢٠٠١)

٣٣- Office of Technology Management "Polymeric Self-Healing Composites for Longer Lasting Products (TF٠١٠١٣)" University of Illinois at Urbana-Champaign, (٢٠٠٢-٢٠٠٧)

٣٤ – Rani & Rami "Fracture Testing and Micromechanical Analysis of Pultruded Composites" ١٥th ASCE Engineering Mechanics Conference Joun (٢-٥) Columbia University, New York (٢٠٠٢)

٣٥- Wataru & Koji & Kotoji "Particulate/Sic Whisker Multi – Composite " Dep. of Energy & Safty Engineering Yokohama National University (٢٠٠٥)

Abstract

In this studying , the fracture surface energy of unidirectional fiber – reinforced polymer are studied on two specimens , the first specimen contain polyethylene as a matrix and ξ glass fiber as a reinforce medium , and the second specimen contain polyethylene as a matrix and ξ carbon fiber as a reinforce medium , by changing the normal applied stress on the parallel fibers at range between ($\vartheta - \psi$ GPa) , when the fiber diameter , fiber contents and shear stress are constant , and changing the fiber diameter at range ($\nu - \nu\mu$ μm) when other parameters are constant , in addition to changing the fiber contents at range between ($\lambda - \xi$) fibers when other parameters are constant . The Young's modulus, density, of composite and specific strength are calculated for two specimens , as well as , the weight ratio (volume of fraction) of fibers are calculated at range ($\vartheta\% - \psi\%$) weight ratio by addition ($\nu\%$) weight ratio for two specimens . In addition, the Young's modulus of composite are calculated when the applied stress is parallel of the fiber, and compare with normal applied stress for two specimens. As well as the fiber strain and the composite strain are studied for two specimens at two stage (applied stress normal and parallel to the fibers) .

This results are presented the fracture surface energy is increase by increasing the fiber diameter , fiber contents , and applied stress , and decrease with decreasing the Young's modulus . In addition, the reinforced lead to composite with low density and density of composite is increase by increasing volume fraction of fibers for two specimens.

As well as , the specific strength is equal at range ($\lambda - \xi$) fibers and it decrease with increasing volume fraction of fibers at range ($\vartheta\% - \psi\%$) weight ratio when the applied stress is constant , and it increase with increasing applied stress .

In addition , the strain is increase by increasing applied stress when the Young's modulus is constant , while it decrease by increasing the Young's modulus when the applied stress is constant , and this strain is greatest when the applied stress is normal on fibers . In addition, the Young's modulus is greatest when the applied stress is parallel on fibers.

As well as the Fortran language is used to design the programs to calculations theoretical data in this studying.



CALICULATIONS THE FRACTURE SURFACE ENERGY
OF POLY ETHELEN – RIENFORCED BY GLASS AND
CARBON FIBERS

A Thesis

Submitted to the College of science of the University of
Babylon in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of science in Physics science

By
Hanaa Jawad AL- Shemary
B.SC., ٢٠٠٠

June - ٢٠٠٧