



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل / كلية الهندسة

تمتين البولي اثلين العالي الكثافة بالمطاط وتقويته بالالياف الزجاجية

رسالة تقدم بها

مؤيد عبد الحسن محمد علي زاهد

إلى قسم هندسة المواد في كلية الهندسة / جامعة بابل،
وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم
في هندسة المواد / اللدائن

بإشراف

م. د. كاظم فنتيل السلطاني

ا.م.د. نجم عبد الامير سعيد

1429 هـ

2008 م

Republic of Iraq
Ministry of Higher Education and
Scientific Research
University of Babylon
College of Engineering



Toughening of High Density Polyethylene with Rubber and Reinforced with Glass fibers

A Thesis

*Submitted to the College of Engineering of the University of
Babylon in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
of Master of Science in Materials Engineering/Polymers*

BY
THE ENGINEER

Moayad Abd AL-Hassan Mohammed Ali Zahid

*Supervised
By*

D. Najim A. Saeed

D. Kadhim F. AL-Sultani

1429 A. H.

2008 A. D.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

((يرفع الله الذين آمنوا منكم والذين

أوتوا العلم درجات والله بما تعملون خبير))

صدق الله العلي العظيم

سورة المجادلة

الآية (II)

الإهداء

إليك إليك
يا من قرأ في قلبي خطرات الطموح ...
فراح يقلب نبض الكفاح في صفحات روعي ...
يا من حرك دموع الكبرياء في احداق رجائي ...
يا من ذابت روحه بفيض الاصيل ...
فتقاطرت نوراً على أوراق أمني ...
الى عيني نظرت بها الى عالم الضياء ...
وقلبي الذي ابصرت به السناء ...
وروعي التي ايقنت بها النجاح والرجاء ...
إليك يا والدي العظيم ... إليك يا والدتي العظيمة ...
أقدم هذا الجهد المتواضع ... في طريق الاجيال ...
والى من قدم يد العون ليضيء الطريق ...
أساتذتي ... أخوتي ... أصدقائي ...

مؤيد

أقرار المشرفين على الرسالة

نشهد أن إعداد هذه الرسالة الموسومة (تمتين البولي اثلين العالي الكثافة بالمطاط وتقويته بالالياف الزجاجية) والمقدمة من الطالب (مؤيد عبد الحسن محمد علي زاهد) قد جرى بأشرافنا في جامعة بابل / كلية الهندسة وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في هندسة المواد/فرع اللدائن .

التوقيع :

اسم المشرف : د. نجم عبد الامير

المرتبة العلمية : أستاذ مساعد

العنوان : جامعة بابل / كلية الهندسة

التاريخ : / / 2008

التوقيع :

اسم المشرف : د. كاظم فنطيل السلطاني

المرتبة العلمية : مدرس

العنوان : جامعة بابل / كلية الهندسة

التاريخ : / / 2008

شكر وتقدير

بعد الانتهاء من متطلبات هذا البحث أشكر الله عز وجل على توفيقه لي في إنجازه ، كذلك أتقدم بجزيل الشكر وفائق التقدير إلى أستاذي الفاضلين الدكتور نجم عبد الامير سعيد و الدكتور كاظم فنطيل السلطاني على إشرافهما على بحثي وما أبدياه من جهود متميزة ومتواصلة وبشكل فعال في إغناء هذا البحث وإخراجه إلى حيز الوجود ، سائلاً المولى تبارك وتعالى أن يوفقهما في خدمة البحث العلمي في قطرنا العزيز.

وأشكر كل من اساتذة قسم هندسة المواد و اخص بالذكر الدكتور زهير جبار والسيد ذو الفقار كريم ومنتسبي الورش الهندسية – جامعة بابل و اخص بالذكر السيد قاسم والسيد جميل عبد الحر ومنتسبي قسم العلوم التطبيقية – الجامعة التكنولوجية و اخص بالذكر منهم الدكتورة بلقيس

كما واتقدم بالشكر الى مدير المختبرات المركزية ومدير السيطرة النوعية و مسؤولي المختبرات الفيزيائية والكيميائية في معمل اطارات بابل لما قدموه من عون كبير ولإتاحتهم الفرصة في استخدام المختبرات المتوفرة لديهم واشكر الدكتور لؤي صادق الانصاري والدكتور ليث جواد في كلية الهندسة جامعة الكوفة لمشورتهما ونصائحهما في انجاز البحث واتقدم باشكر لاختوتي وزملائي كل من الاخ حامد جواد والاخ علي العوادي والاخ حيدر الصراف و الاخ وسام ناجي الاعرجي و الاخ قتيبة حسين و الاخ مصطفى محمد و الاخ نوفل زهير و الاخ عمار عماد و الاخ عودة جبار .
واخر دعوانا ان الحمد لله رب العالمين

مؤيد

الخلاصة

ان الاهمية المتزايدة لاستخدام الخلائط البوليمرية والمواد المركبة البوليمرية جاءت نتيجة التطور الصناعي والتكنولوجي الكبير الذي يشهده العالم وبوصفه بديلاً عن المواد الهندسية التقليدية التي ساد استخدامها في الصناعة، وخصوصاً صناعة اجزاء المركبات والصناعات البحرية كالقوارب واجزاء السفن كذلك الصناعات الطبية لذا فان البحث الحالي يهدف الى تحضير مركبات متينة ذات مواصفات ميكانيكية جيدة ، إذ تم في هذه الدراسة تحضير خلائط البولي اثلين عالي الكثافة مع المطاط الصناعي NBR وبنسب وزنية مختلفة (5%,10%,15%,20%,25%,30%) وذلك لغرض تحسين قيم المتانة (Toughness) ، اذ ان اضافة المطاط الى HDPE يؤثر على بعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية بشكل ايجابي وعلى البعض الاخر بشكل سلبي ، لذلك تضاف الالياف الزجاجية نوع (E) الى الخلائط (Blends) لغرض تقويتها وتكون بشكل مقطع وعشوائي وبنسب وزنية (5%,8%,10%) لتحسين في خواص الجساءة (Stiffness) والوصول الى افضل قيم متانة وجساءة من خلال اختيار افضل النسب المستخدمة.

ولتقييم اداء هذه المواد تم اجراء الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية في درجة حرارة الغرفة تضمنت اختبار مقاومة الصدم ، مقاومة الشد ، مقاومة الانحناء ، مقاومة الانضغاط ، معامل المرونة ، الصلادة ، الموصلية الحرارية.

اظهرت النتائج ان افضل نسبة خلط لخلائط HDPE/NBR هي (85/15) مقارنة مع باقي النسب المستخدمة، كذلك فان قيمة مقاومة الصدم لهذه النسبة تساوي (230J/m) بينما مقاومة الانحناء كانت (103MPa) والاستطالة كانت (6%) اما مقاومة الشد ومعامل المرونة والانضغاط فقلت قيمهما حيث كانت (11.8 MPa) للشد و(0.9 GPa) لمعامل المرونة و(15.1 MPa) () للانضغاط اما قيم الموصلية الحرارية فقلت عند نسب المطاط من (0.55 - 0.23W/m.c°) .

اما النتائج النماذج الناتجة من التقوية بالالياف الزجاجية الى الخليط البوليمري الامثل (85/15) فظهرت ان افضل نسبة هي (5%) مقارنة مع باقي النسب المضافة التي ادت الى زيادة في خواص مقاومة الشد ومعامل المرونة ومقاومة الانضغاط مقارنة مع الخلائط حيث ازدادت مقاومة الشد الى (20MPa) ،معامل المرونة الى (1.2GPa) ،مقاومة الانضغاط الى (28.6MPa).

المحتويات

Contents

V		قائمة الرموز والمختصرات
VII		قائمة المصطلحات
IX		الخلاصة
	المقدمة و البحوث السابقة	الفصل الاول
1		1.1 مقدمة عامة
4		1.2 البحوث والدراسات السابقة
12		1.3 الهدف من البحث
	الجزء النظري	الفصل الثاني
13		2.1 المقدمة
13		2.2 تصنيع البوليمرات
14		2.3 تصنيف البوليمرات
15		2.4 مصادر البوليمرات
15		2.5 الاواصر والقوى الجزيئية
16		2.6 مكونات المواد المركبة
17		2.6.1 المادة الاساس
17		2.6.1.1 اللدائن المطاوعة للحرارة
17		2.6.1.2 اللدائن المتصلدة بالحرارة
18		2.6.1.3 اللدائن المرنة
18		2.6.2 المواد المضافة
19		2.6.2.1 المركبات المقواة بالدقائق
19		2.6.2.2 المركبات المقواة بالالياف
21		2.6.2.2.1 مركبات الالياف المستمرة

30		3.6.2.2.2 مركبات الالياف القصيرة
32		3.6.2.3 المركبات المقواة بالمشتتات
33		3.6.2.4 المركبات المقواة بالقشور
33		3.6.3 السطح البيني وقوة التلاصق
34		3.6.3.1 الربط الميكانيكي
34		3.6.3.2 الربط الكيميائي
34		2-6-3-3 الربط بواسطة الجذب الكهروستاتيكي
35		2.7 المواد المطاوعة حرارياً
35		2.7.1 البولي اثلين
36		2.7.2 تصنيف البولي اثلين
36		2.7.3 البولي اثلين عالي الكثافة
37		2.7.4 طرق تصنيع البولي اثلين
38		2.8 تمتين البولييمرات
41		2.8.1 المطاط
42		2.8.2 الالياف الزجاجية
43		2-8-2-1 تصنيع الالياف الزجاجية
47		2.9 الخواص الميكانيكية
48		2.9.1 الاجهاد والانفعال
50		2.9.2 مقاومة الصدمة
52		3.9.3 مقاومة الانضغاط
52		3.9.4 مقاومة الانحناء
54		3.9.5 الصلادة
54		2-10 الخواص الحرارية
54		2-10-1 التوصيلية الحرارية

	الجزء العملي	الفصل الثالث
57		3.1 المقدمة
57		3.2 المواد المستخدمة
59		3.2.1 المادة الاساس
58		3.2.2 المواد المضافة
58		3.2.3 مواد التقوية
59		3.3 تحضير القوالب
62		3.4 تحضير العينات
64		3.5 النماذج والاختبارات المعتمدة
63		3.5.1 اختبار مقاومة الشد
66		3.5.2 اختبار مقاومة الصدمة
67		3.5.3 اختبار مقاومة الانضغاط
68		3.5.4 اختبار مقاومة الانحناء
69		3.5.5 اختبار الصلادة
70		3.5.6 اختبار الموصلية الحرارية
71		3.6 الاجهزة المستخدمة
71		3.6.1 جهاز اختبار الشد
72		3.6.2 جهاز اختبار الصدم
73		3.6.3 جهاز اختبار الانحناء
74		3.6.4 جهاز اختبار مقاومة الانحناء
75		3.6.5 جهاز اختبار مقاومة الانضغاط
76		3.6.6 جهاز اختبار الصلادة
77		3.6.7 جهاز اختبار الموصلية الحرارية
	النتائج والمناقشة	الفصل الرابع
78		4.1 المقدمة

78		4.2 تأثير اضافة مطاط NBR على الخصائص الميكانيكية والفيزيائية العامة
78		4.2.1 تأثير اضافة مطاط NBR على الخصائص الميكانيكية العامة (مقاومة الشد، معامل مرونة، استطالة، مقاومة انحناء، مقاومة انضغاط، صلادة) لمادة HDPE
84		4.2.2 تأثير اضافة NBR على مقاومة الصدمة للبولىمر HDPE
85		4.3 تأثير اضافة NBR على الموصلية الحرارية للبولىمر
88		4-4 تأثير اضافة الالياف الزجاجية على الخصائص الميكانيكية والفيزيائية العامة
88		4-4-1 تأثير اضافة الالياف الزجاجية على الخصائص الميكانيكية العامة (مقاومة الشد، معامل مرونة، استطالة، مقاومة انحناء، مقاومة انضغاط، صلادة) لمادة HDPE
95		4-4-2 تأثير اضافة الالياف على الموصلية الحرارية لخليط HDPE/NBR
	الاستنتاجات والتوصيات	الفصل الخامس
98		5.1 الاستنتاجات
99		5.2 التوصيات
100		المصادر

Chapter One

Introduction & Literature Review

المقدمة والبحوث السابقة

(General Introduction)

1-1 مقدمة عامة

يعد البولي اثلين البوليمر الأكثر إنتاجاً في العالم والأكثر استخداماً في عمليات التغليف و يوجد أنواع مختلفة منه ولكن الأكثر استخداماً هي البولي اثلين واطيء الكثافة (LDPE) والبولي اثلين عالي الكثافة (HDPE)، ان البولي اثلين يمتاز بسهولة تصنيعه ورخص ثمنه وقابلية اعاده تدويره إلا أنه يعاني من مشاكل انخفاض خواصه الميكانيكية وخصوصاً في التطبيقات التي يتعرض لها البولي اثلين الى المؤثرات البيئية كالحرارة والاوزون، حيث يعاني من تدهور كبير في اهم هذه الخواص من الناحية التطبيقية وهي خاصية المتانة، ولذا فان هنالك الكثير من الدراسات والبحوث في هذا المجال، الا ان اتساع التطبيقات وتوفر انواع كثيرة من البولي اثلين خصوصاً عند مزجها وتعديل خواصها بالانواع الاخرى من البوليمرات، كالبوليمرات المرنة مثل المطاط بانواعه، وكذلك وجود الكثير من المركبات لهذه المواد وخصوصاً عندما تهىء هذه المركبات من الالياف المختلفة الانواع، وكذلك في اختلاف طرق واليات التقوية.

ولهذا فان الباب مفتوح للكثير من الدراسات والحلول والتحليلات الرياضية للتغلب على هذه الخصائص وجعلها قابلة لتحدي الظروف وحسب التطبيقات. لذا فان الدراسة الحالية تهدف الى تحسين متانة احد اهم انواع البولي اثلين، وهو البولي اثلين عالي الكثافة، لجعله يلئم التطبيقات التي تتعرض الى الاحمال المفاجئة والانفعالات العالية كتطبيقات المركبات والسفن والقوارب والتي من شأنها ان تكون اكثر عرضة لمثل هذا الفعل.

وباستخدام احد انواع البوليمرات المرنة مثل مطاط NBR، كذلك محاولة تعديل الخواص الاخرى التي تبدأ بالانخفاض بالتزامن مع ارتفاع المتانة كخواص المقاومة والصلادة، وهذا النوع يتطلب استخدام اليات التقوية بالالياف كالياف الزجاج والكربون والكفلر الخ. الا ان التركيز على الياف الزجاج من نوع (E-glass) لرخص ثمنه ووفرته جعل من الممكن ادخاله كعامل تقوية من جهة، وعامل معادل لازدياد المتانة العال نتيجة لقصافة هذا الليف

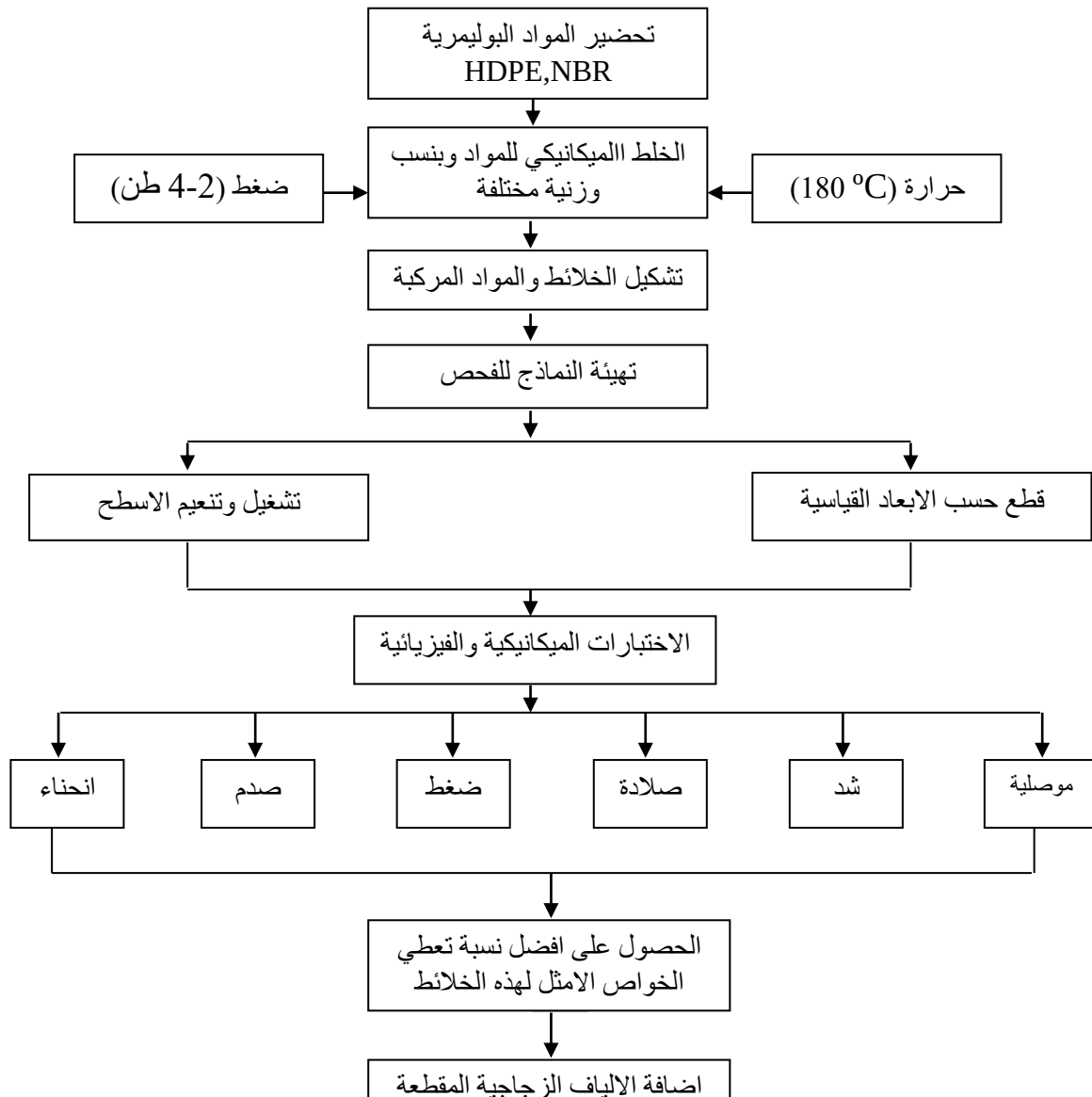
تتضمن هذه الاطروحة مراحل اجراء الجزء العملي والمبين في المخطط (1-1) الذي يمثل مراحل تحضير العينات والاختبارات وصولاً الى اهداف الاطروحة. والتي تتضمن :

- 1- تمثين البولي اثلين عالي الكثافة باستخدام نسب معينة من المطاط NBR واستنباط القيمة الفعالة لمادة NBR .
- 2- تقوية البولي اثلين عالي الكثافة المعدل (المقوى) باستخدام الياف بنسب وزنية (10%-8%-5%) وقياس خصائص المواد المركبة الناتجة من هذه التقوية.
- 3- اجراء فحوصات مقاومة التوصيل الحراري لجميع العينات ومقارنتها مع بعضها حيث تعد هذه الخاصية من الخصائص الفعالة في الحفاظ على متانة البوليمرات من التدهور وهذا يؤدي الى استقرار كامل في جميع الخصائص المدروسة.

ان اهم تطبيقات البولي اثلين عالي الكثافة المقوى هي امكانية تصنيع اجزاء متينة ورخيصة الثمن وذات خواص ميكانيكية جيدة واحتفاظها باستقرارية حرارية متأتية من وجود الالياف الزجاجية التي تعمل كمسامير حرارية لتبديد الحرارة ،اذ ان تجمع الحرارة في البوليمرات هو السبب الرئيسي في تدهور خواصها ومن هذه التطبيقات المبينة بالشكل (1-1)



الشكل (1-1) يوضح التطبيقات المختلفة للمركبات البوليمرية [1]



المخطط (1-1) : مخطط تسلسل البرنامج العملي المتبع في البحث

1-2 البحوث والدراسات السابقة (Literature Review)

هنالك العديد من الدراسات والبحوث التي تناولت موضوع تمتين وتحسين الخواص للبوليمرات اللدنة بالحرارة كالبولي اثلين عالي الكثافة وPVC والبولي بروبيلين والنايلون باستخدام التقوية المختلفة الالياف والجسيمات ومن اهم البحوث في هذا المجال هي:

في عام (1954) درس الباحثان (S.Fellahi و N.Abacha) تصنيع مادة (PP-g-MAH) بوصفها مادة رابطة (Compatibilizer) وتقييم تأثيرها على خواص خلائط Nylon6\Polypropylene والمقواة باللياف الزجاج، فلاحظا ان اضافة (Compatibilizer) يحسن من الخواص الميكانيكية للخلائط في حالة عدم توافقها مع حامض الماليك اللامائي (MAH) حيث تزداد خواص مقاومة الشد والصدمة باضافة (5%) من مادة (PP-g-MAH) [2].

وفي عام (1973) درس الباحثان (Matjaz و Volko) خواص الصدم لمواد مركبة من المواد اللدنة بالحرارة والمواد المرنة (TPE) فوجدا ان هناك تحسن في خواص الصدمة [3].
في عام (1978) درس (Piggot) المحددات على منحنيات اجهاد-انفعال للبوليمرات المقواة باللياف قصيرة. وبين بان شكل منحنيات اجهاد-انفعال تعتمد بشكل كبير على النسبة الباعية (Aspect Ratio) لليف، ولكونها تتأثر بقوة التلاصق بين الالياف والارضية. فوجد بان معامل الاحتكاك له تأثير مهم على منحنيات اجهاد-انفعال [4].

شرح الباحثان (Paul و Balow) في عام (1981) مفهوم الخلائط البوليمرية ودرسا خواص المواد البوليمرية اللدنة بالحرارة، فوجدا بان الخلائط غير المذابة اصبحت مصدراً مهماً للمنتجات البوليمرية الجديدة [4].

وفي عام (1988) قام الباحثان (A.Sanchez و A.Padilla) بدراسة تغير الموصلية الحرارية لمادة البولي اثلين المحشى بانواع معينة من الرمال ومصنعة بطريقة القولية والكبس، وقد توصل الباحثان الى ان زيادة كمية الرمال تؤدي الى زيادة الموصلية الحرارية للمادة [5].

قام الباحث (K.AL-Rawi) في عام (1998) بدراسة التوافقية لنظام خلائط وتأثيرها على بعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية، إذ استخدم مواد لدنة بالحرارة ومواد صلدة الحرارة فتوصل

الى انه من الممكن الحصول على خليط من اثنين من البولييمرات مثل PMMA,PS,PU,UPE,EP ، وبنسب مختلفة لتعطي توافقية تامة من حيث افضل خواص مطيلية واستقرارية حرارية وان زيادة ونقصان متانة الكسر تعتمد على نوع وتركيز مركبات الخليط ، كما تزداد الصلادة بسبب عملية التقادم (Aging)[6] .

درس الباحث (E.G.Chaves) وآخرون في عام (1998) خلاط PP\EPDM\NBR التي تعرف بالمواد المرنة اللدنة بالحرارة (Thermoplastic Elastomers) وتكون ذات بنية (Morphology) غير متجانسة وتأثير اضافة راتنج الفينول وبنسب مختلفة على عمليات التصنيع والخواص الميكانيكية. فوجدوا باستعمال (SEM) تأثيراً واضحاً للفينول على الخواص الميكانيكية وعمليات التصنيع حيث يساهم طور المطاط بخواص مقاومة وخواص ميكانيكية عالية مثل الصلادة ومقاومة الصدم في درجة الحرارة العالية ، ومقاومة للمذيبات ، والزيوت الحارة و تقل البلورية في التركيب كما ان اضافة الفينول (Phenolic) تقلل من حركة الجزيئية (Molecular Mobility) ومن ثم تقل مقاومة الصدم [7].

في عام (1999) درس الباحث (Jia Jun Hoa) وآخرون الانتقال الهش-المطيلي لخلائط HDPE مع مطاط NBR باستخدام الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic) ، فوجدوا ان خواص الصدم تتحسن مع مطاط NBR وحسب النسب المضافة ، وباعتماد على نوع NBR المستخدم [8].

درس الباحثان (Matjaz Denac و Vojko Musil) في عام (1999) تأثير المواد المرنة اللدنة بالحرارة (مطاط SEBS) على الخواص الميكانيكية والبنية لمركبات PP\Talc. فوجدا بان المحسنات المعالجة (المواد المرنة، التالك) تحسن التلاصق مع المادة الاساس التي تنعكس على الصفات الميكانيكية بافضل نقل للاجهاد [9].

في عام (2000) درس الباحثان (S.Ulutan and M.Jilbert) تأثير المائات مثل مركبات هيدروكسيد المغنيسيوم في الخواص الميكانيكية للبولي اثلين عالي الكثافة (HDPE) فوجدا بان تأثير هذه المائات يزيد من قوة الشد والانحناء للبولي اثلين عالي الكثافة بينما تقل استطالته [10].

درس (G.R.Furtado) في عام (2000) الخواص الميكانيكية لمواد مركبة من المايكا والسليكا مطاط الستايرين بيوتاديين ، فتوصل الى ان نسبة قليلة من المايكا تزيد من معامل المرونة (Modulus of Elasticity) ولا تؤثر على مقاومة الشد والاستطالة عند الكسر، وان اضافة

مادة (Silane) بوصفها مادة رابطة (Coupling Agent) يعمل على تقوية الاصرة بين المطاط والسليكا ولكن له تأثيراً عكسياً على عمر الكلال (Fatigue Life) [11].

كما درس (Sangmin Kwon) وآخرون في عام (2000) الخواص الميكانيكية وعدم التبلل (dewetting) في السطح البيني (interfacial) في مركبات البولي اثلين عالي الكثافة (HDPE) والبولي اثلين المنخفض الكثافة (LDPE)، والبولي اثلين المنخفض الكثافة الخطي (LLDPE) مع كاربونات الكالسيوم (CaCO_3) باستخدام مجهر الماسح الضوئي (SEM)، فتوصلوا الى ان اجهاد الشد في مركبات البولي اثلين المحشى بالكالسيت (CaCO_3) بنسبة (50%) اعلى من غير المحشى إذ يكون دلالة تأثير التقوية بكاربونات الكالسيوم، حيث يبدأ الشق فوق 50% من الاستطالة على طول الاتجاه العرضي ويحصل الانسلاخ بين سطح كاربونات الكالسيوم والبولي اثلين [12].

درس الباحثان (P.A.Lovell و M.O.Munyati) في عام (2000) الخواص الميكانيكية لراتنجات البولستر المحسنة بالمطاط حيث وجدا بان المتانة تعتمد على الكسر الوزني للدقائق وكيمياء المطاط ومعدل الكسر، حيث تزداد المطيلية للمادة الاساس وتقل قيم معامل المرونة ويكون انفعال الكسر كبير [13].

درس الباحث (B.A.G. Schrauwen) وآخرون في عام (2000) متانة البولي اثلين عالي الكثافة (HDPE) باستخدام دقائق حشو صلبة، فاستخدموا دقائق من كاربونات الكالسيوم لتحسين الصدم ولزيادة خواص الصدم ومعيارية انسلاخ (debonding) بين الدقائق والمادة الاساس و تم اضافة حامض الستايرين بنسبة (1%) لتحسين التلاصق وبنسب اضافة وزنية تساوي (10%) وتمت عملية التصنيع باستخدام طريقة القولية بالضغط للحصول على قوة صدم تساوي (15KJ/m^2) وحدث تشوهات قصية عالية وبذلك يحتاج الى طاقة اكبر بسبب هذه التشوهات وبالتالي تزداد مقاومة الانحناء [14].

في عام (2001) درس الباحث (Jayant Joshi) وآخرون خواص الشكل والتطعيم الميكانيكي لخلائط البوليمر غير المذابة من PS/IPP مع معامل المرونة وبتراكيب مختلفة لتحسين متانة الانحناء باستخدام DSC ودراسة اختلاف البلورية في البوليمرات شبه البلورية والبنية المشتركة لتحسين الخواص الميكانيكية [15].

اما في عام (2002) درس الباحث (M.L.Auad) وآخرون السلوك الميكانيكي والكسر لراتنجات الفينيل استر المحسنة بالمطاط السائل لاوزان جزيئية مختلفة حيث تضاف المواد لتحسين خواص الكسر والمتانة والسلوك الميكانيكي لهذه المواد [16].

درس الباحثان (J.J.Sunol ,Saurina) في عام (2002) التحليلات الحرارية لمركبات ذات اساس من البولي اثلين عالي الكثافة المتقادم (Aged) ، إذ تم اضافة الياف السيليلوز وبنسب وزنية مختلفة (10%,20%,30%,40%) مع استخدام مادة رابطة (Coupling Agent) مثل Silane Epodene ,maleated ethylene ، حيث يقل الانثالية مع زيادة الاليف [17].

بينما درس الباحث (J.Biagiotti) وآخرون في عام (2002) الخواص الميكانيكية لمركبات ذات اساس من البولي بروبيلين (Polypropylene) مقواة بالياف طبيعية باستخدام نظرية (Griffith) ومعادلات (Halpin-Tsai) والعلاقة بين النتائج العملية والتوقعات النظرية، إذ ان الاليف القصيرة مثل الياف الزجاج والنايلون (الكفلر) تستخدم بكثرة في المواد المركبة ذات الاساس من المواد البوليمرية اللدنة بالحرارة (Thermoplastic) لتحسين الخواص الميكانيكية وتقليل الكلفة نسبة الى الاليف المستمرة، إذ يكون طول الاليف المقطعة تساوي (L=10mm) وتضاف بنسبة (13%-8%) [18].

في عام (2003) درس الباحثان (J.Suwan Prateep و P.Troagtong) التحسين بالاشعاع ل HDPE المحور للتطبيقات الطبية، فوجدا تغيير بالصلادة والبلى للبلى للبولي اثلين المحور باشعة كما عن غير المشع [19].

درس الباحث (Ludwik Domka) وآخرون في عام (2003) الخواص الميكانيكية والتركيب المجهرى لمركبات HDPE\ Chalk الجديدة ، من اجل تقليل الكلفة وتحسين الخواص الميكانيكية للمواد المركبة والحصول على مميزات جديدة مثل الاستقرار الحرارية، فتوصلوا الى ان معامل المرونة (E) تتغير اضافة الطباشير حيث يزيد اضافة Chalk معامل المرونة الى (1.5GPa) ، وللحصول على افضل خواص يعالج الطباشير بملح خاص (ملح الامونيا) وعندها تقل قوة الشد عند اضافة (10%) [20].

كما درس الباحث (Tomas Ludin) وآخرون في عام (2004) ظروف التجوية (Weathering) المعجلة لمركبات PE المحشاة بالاليف الطبيعية باستخدام تأثير (UV) والرطوبة والتحلل الناتج يقاس من خلال خواص المرونة والانحناء ، فوجدوا بان هذه الخواص تقل بزيادة التعرض [21].

كذلك درس الباحث (A.Boztu) وآخرون في عام (2004) التحليل الكيميائي الحراري لخلائط PVC مع حامض المالك اللامائي (MAPE) والهدف هو تحسين هذه الخواص و T_g ومعامل التوسع الحراري (Coefficient of Thermal expansion) لهذه الخلائط [22].

و درس الباحث (J.Yu) وآخرون في عام (2004) درجة الانتقال الزجاجية في PVC المحور والمحسن للصدم باستخدام MBS في الأساس PVC حيث تحسن متانة الكسر [23].
درس (Jajant Josshi) وآخرون في عام (2004) الصفات الميكانيكية والبنية في خلائط البوليمر غير المذابة (immiscible)، فتوصلوا إلى أن الخواص تتغير حسب نوع المضافات ونسبها مثل خاصية مقاومة الانحناء [24].

في عام (2005) درس الباحث (Joy K.Mishra) وآخرون الخصائص الانسيابية والميكانيكية للمواد اللدنة بالحرارة البولي فيني تيرين TPO مع مواد متناهية الصغر جداً لتأثير إضافة الماليك اللامائي بوصفه محوراً لبوليمر PP ومتوافقاً، وتفحص بـ x-Ray و IR لتحسين الشد ومعامل المرونة [25].

قام الباحثان (Azman Hassan و Barry Haworth) في عام (2005) بدراسة خواص الصدمة لبوليمر PVC محور بمطاط الاكريليك وتأثير درجة الحرارة، فوجدوا بأن المتانة تتحسن بالطور المشتت المطاطي الذي يستخدم بمقادير كبيرة إذ أن PVC المحور والممتن بالمطاط يعد صنفًا مهمًا من البلاستيك الممتن بالمطاط الذي يطور لتطبيقات الصناعة في الابنية والاثاث واطارات النوافذ كذلك قياس تأثير الحرارة على مقاومة الصدم لبوليمر PVC الممتن بالمطاط باستخدام طريقة قياس فحص الصدم بالاجسام الساقطة وميكانيكية الكسر والتمتين حيث تعرض النتائج بشكل صحيح بتغير في نقطة Tg عند درجة حرارة منخفضة باستخدام (SEM). [26].

الباحث (Azman Hassan) وآخرون في عام (2005) درسوا الخواص الميكانيكية لخلائط ABS\PC وتأثير نسب الخلط على الخواص مثل مقاومة الانحناء والشد والصدمة ومعامل المرونة، فتوصلوا إلى أن مقاومة الصدم تزداد بزيادة نسبة PC، وكذلك الانحناء ومعامل المرونة ولكن تنخفض مقاومة الصدم فجأة عند 20% من PC إذ أن افضل نسبة خلط هي 40:60 [27].

الباحث (Chantara T. Ratnam) وآخرون في عام (2005) درسوا طور المطاط المتشابك والمشع في خلائط (PVC\ENR) وتأثيرها على الخواص الميكانيكية، فوجدوا بأن نسبة 50/50 من المادتين والمشعة تؤدي إلى زيادة مقاومة الشد، المرونة، الصلابة والصدمة من خلال جرعات الاشعاع وبذلك يساهم في تحسين خواص هذه الخلائط [28].

في عام (2006) درس الباحث (M.Tannira) وآخرون مقاومة الصدمة لمادة HDPE المقوى بالطين من خلال التشوهات اللدنة من خلال فحص (SEM) ومقارنة سلوكها مع غير المقواة تحت ظروف تصنيع معروفة إذ أن وجود الطين في البوليمرات يؤدي إلى غرضين هما التقوية وتأثير

التنوية (nucleation)، إذ ان تأثير التقوية يزيد البلورية ومعامل المرونة بينما التنوية يؤثر على تقليل حجم الحبيبات عند حرارة $T=40^{\circ}\text{C}$ [29].

درس الباحثان (Sanjay K. Nayak و Smita Mohanty) في عام (2006) الخصائص الميكانيكية والانسايية لمركبات HDPE\Jute التي تعامل بأشكال مختلفة باستخدام الياف قصيرة (6mm) تخلط مع المنصهر ثم تقولب بالضغط وتحسين التلاصق بين الاليف والارضية تعامل الاليف سطحياً بعوامل ربط ثم تعامل بالماليك المطعم ببوليمر PE بنسبة (0.01)، ثم تقاس الخواص الميكانيكية وسلوك اللزوجة للمواد المركبة حيث تزداد معامل المرونة ولزوجة أكثر لتحسين التلاصق وتفحص باستخدام (SEM). [30]

درس الباحث (M. N. Radhaktishnan) وآخرون في عام (2006) صفات و توافقية خلاط PVC\NBR باستخدام كوبوليمر قالي NR\PU، فوجدوا تدهور خواص الشد التي تستعاد بإضافة 1.5 % وزنا من الموافق (Compatiblizer) إذ ان قوة الشد الصدمية تتحسن والتي تنتج من تحسين التلاصق الداخلي بين PVC و NR باستخدام الموائم [31].

درس (Malte H.G. Wichmann) وآخرون في عام (2006) انتاج وخواص مركبات البوليمر المقواة بالياف الزجاج لاساس من الايبوكسي، فتوصلوا الى ان الاداء الميكانيكي يزداد بإضافة الاليف مثل القوة والمتانة والكلال، كما ان وجود دقائق صغيرة من السليكا تزيد من متانة الكسر [32].

درس (Ali Gungor) في عام (2006) الخواص الميكانيكية لمركبات البولي اثلين عالي الكثافة محشو بمسحوق الحديد وبنسب وزنية مختلفة، فتوصل الى ان دقائق الحديد تزيد من الخواص الميكانيكية وخاصة الصدم مقارنة مع غير المضاف اليه دقائق الحديد إذ ان (5%vol.) تقلل خاصية الصدمة والاستطالة عند (40% vol. - 90% vol.) ولكن تزداد (E) عند (31%) [33].

في عام (2007) قام الباحث (Jian Dong Zuo) وآخرون بأعداد خلاط HDPE\UHMWPE\MMWPE باستخدام طريقة تصنيع بمرحلتين وخواص الرقائق المنفوخة، فوجدوا باستخدام الفحص الميكانيكي ان النسبة MMWPE في UHMWPE المحور تكون 40% ونسبة UMWPE في الخليط هي 20% تكون الطبقة بأفضل خواص ميكانيكية حيث قوة الشق والتمزق تزداد الى 56% و 21% بالتعاقب، مقارنة مع طبقة HDPE نقي [34].

درس (S.Kanagaraj) وآخرون في عام (2007) الخواص الميكانيكية للبولي إيثيلين عالي الكثافة مع دقائق كربون متناهية في الصغر، فتوصلوا إلى أن تزداد الخواص الميكانيكية والحرارية عند الإضافة بسبب كفاءة انتقال الحمل من التقوية إلى المادة الأساس والتداخل الجيد [35].

1-3 الهدف من البحث (Work Objectives)

إن الأهداف الرئيسية لهذه الدراسة هي:

- 1- تحضير خلائط بوليمرية من بوليمر البولي إيثيلين عالي الكثافة HDPE ومطاط NBR وذلك لتحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية للبولي إيثيلين عالي الكثافة مثل خاصية مقاومة الصدمة.
- 2- تصنيع مواد مركبة من الخليط البوليمري الأمثل باستخدام الألياف الزجاجية قصيرة نوع (E)، وذلك لتحسين بعض الخواص الميكانيكية مثل خاصية مقاومة الشد ومعامل المرونة.

Chapter Two

Theoretical part

الجزء النظري

(Introduction)

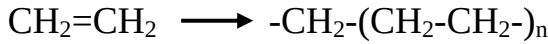
2-1 المقدمة

ان هندسة المواد المركبة البوليمرية الحديثة تلعب دوراً مهماً في تكنولوجيا البناء والتصميم، فربط مادتين او اكثر مع بعضهما نستطيع الحصول على مادة متراكبة جديدة تتميز بخفة الوزن والمتانة العالية، بالمقارنة مع المواد الداخلة في صنعها. فمنذ منتصف الثلاثينيات من القرن الماضي ولحد الان اخذت استخدام البوليمرات المدعمة بمواد تقوية تشغل مساحات واسعة من التطبيقات العملية والصناعية ودخلت في معظم الصناعات، مثل صناعة ابدان السيارات، وهياكل الطائرات، والسفن، واجزاء من الصواريخ، وكذلك في صناعة المعدات الطبية، وغيرها من الصناعات، وفي الوقت الحاضر فان المصممين والمهندسين يميلون الى استخدام اللدائن وذلك لما لها من خواص مركبة غير متوفرة في المواد الاخرى، حيث تتصف بخفة الوزن والمرونة ومقاومة التآكل وسرعة التلون و الشفافية وسهولة التصنيع.

2-2 تصنيع البوليمرات (Production of Polymers)

يتم انتاج البوليمرات بعملية تدعى البلمرة (Polymerization) التي تعرف على انها العملية التي تتحول بواسطتها العناصر ذات الوزن الجزيئي الواطيء (المونومرات) الى عناصر ذات وزن جزيئي عالٍ (البوليمرات). وهناك طريقتان للبلمرة هي [36]:

1-البلمرة بالاضافة : وتسمى ايضاً تفاعلات النمو المتسلسل فيكون حامل السلسلة عبارة عن أيون او مادة تحمل الكترونات غير مزدوج يدعى الجذر الحر، ويتكون الجذر الحر من تحلل مادة ما تكون غير مستقرة تسمى الباديء، ويستطيع الجذر الحر ان يتفاعل عن طريق فتح الاصرة المزدوجة لتكوين جزيئة اخرى تبقى محتوية على الكترون غير مزدوج بوقت قصير جداً. تضاف جزيئات المونومرات الى السلسلة، وفي النهاية يتكون جذران من الجذور الحرة حيث يفني احدهما الاخر وتتكون المادة البوليمرية. ومثال على هذه العملية هو بوليمر البولي اثلين كما هو موضح:



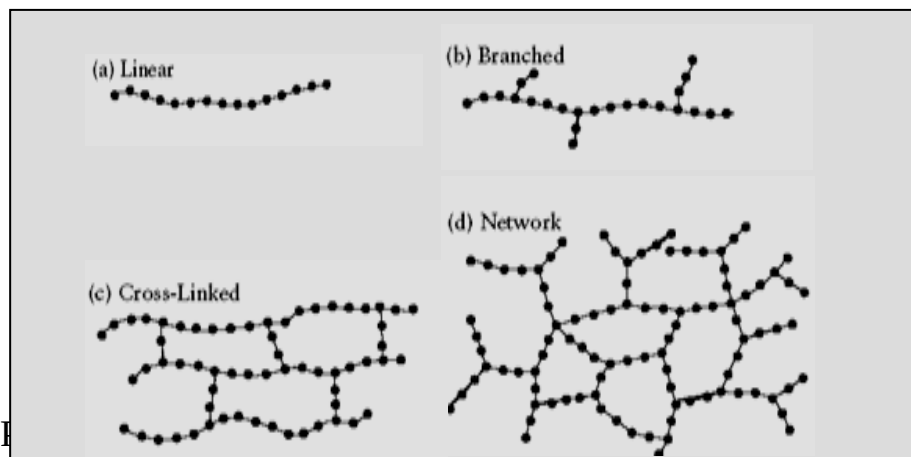
2- البلمرة بالتكثيف: وتسمى ايضاً تفاعلات النمو الخطوي وهي تحدث في المركبات واطئة الوزن الجزيئي ويكون التفاعل بين جزيئين تحتوي على مجاميع وظيفية متعددة وتنتج جزيئة اكبر تحتوي ايضاً على مجاميع وظيفية متعددة، ومن الممكن ان يرافق العملية طرح جزيئة ماء، وتستمر العملية حتى نفوذ احد المتفاعلات كلياً، وفي هذه العملية يتكون البوليمر في المراحل الاخيرة من البلمرة أي عكس تفاعلات الاضافة، ومن امثلتها بوليمرات البولي استر والبولي يورثين [36].

2-3 تصنيف البوليمرات (Classification of Polymers)

1- البوليمرات المعتمدة على التركيب البنائي [36] :

أ-البوليمرات الخطية: تكون جزيئات البوليمر على هيئة سلسلة مستمرة مثل HDPE.
ب-البوليمرات المتفرعة: تكون جزيئات البوليمر على هيئة سلسلة طويلة ومتفرعة مثل LDPE.

ج-البوليمرات المتشابكة: تكون جزيئات البوليمر على شكل سلاسل طويلة ذي ثلاثة ابعاد يتصل بعضها ببعض بشبكة من الاواصر الكيميائية مثل المطاط. والشكل (1-3) يوضح انواع السلاسل البوليمرية [36]



2-

أ- البوليمرات

ب- البوليمرات المشتركة copolymer: وتكون الوحدات البنائية من أكثر من نوع مثل NBR.
ج-البوليمرات المركبة composite polymer: مثل اضافة NBR الى HDPE للحصول على بعض الصفات المرغوبة او التقوية بالالياف [36،37].

2-4 مصادر البوليمر (Sources of Polymer)

للبوليمرات مصدران اساسيان هما:

1- البوليمرات الطبيعية (natural polymer):

وهي مركبات مصدرها نباتي او حيواني كالخشب والقطن والمطاط الطبيعي والصوف والجلد والحرير الطبيعي ومن المواد الغذائية التي تعد من البوليمرات الطبيعية هي النشا والبروتين والسيليلوز.

2- البوليمرات الصناعية:

وهي البوليمرات التي يتم تحضيرها من مركبات كيميائية بسيطة وتمثل معظم البوليمرات المهمة صناعياً ومنها البلاستيكات،الجلود الصناعية،أقمشة النايلون،وبعض الاصباغ وغيرها [38].

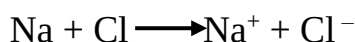
2-5 الاواصر الاولى والقوى الجزيئية في البوليمرات

(Bonds &Moleculer Forces)

يمكن تصنيف الاواصر الاولى والقوى الجزيئية الى [38،39]

1- الأصرة الكيميائية الاولى: وهي الاواصر المسؤولة عن ربط ذرات سلاسل البوليمر وأهمها:

أ-الأواصر الأيونية:إن التوزيع الالكتروني للذرة الأكثر استقراراً هو الذي يحتوي على ثمانية الكترونات في مدارها الخارجي والتي تسمى (octet) ويمكن الحصول على هذا التركيب بواسطة منح الالكترونات من ذرة إلى أخرى كما في المعادلة



ب-الأصرة الفلزية:هي الاصرة التي تتكون من ايونات تحمل شحنات موجبة مغمورة في سحابة من الالكترونات ذو الشحنة السالبة والتي تكون حرة الحركة.

ج-الأصرة التساهمية:تتكون هذه الاصرة عندما يتشارك زوج او اكثر من الكترونات التكافؤ بين ذرتين حيث تكون اغلفتها الالكترونية مستقرة مثل جزيئ الميثان



وهذه الاواصر هي السائدة في البوليمرات.

د-الاصرة التناسقية: وهي مشابهة للاصرة التساهمية في تكوين مدار الكتروني مستقر ما عدا ان الالكترونين المشاركين ،هما من الذرة نفسها مثل ثالث كلوريد البورون، وتوجد هذه الاواصر في البوليمرات اللاعضوية.

2-القوى الجزيئية: هي القوى المسؤولة عن ربط سلاسل البوليمر ببعضها البعض او بين اجزاء السلسلة الواحدة ولهذه القوى تأثير كبير على معظم خواص البوليمرات الفيزيائية والميكانيكية. وتسمى هذه القوى بقوى الاواصر الثانوية، وتسمى ايضاً بقوى فاندر فالز (Vander waals) ومن هذه القوى: **أ-قوى الاستقطاب:** تنجم هذه القوى عن وجود جزيئات مستقطبة في سلسلة البوليمر ويكون لها عزم قطبي يؤدي الى حدوث تجاذب بين الاقطاب المختلفة، وتعتمد هذه القوى على درجة الحرارة.

ب-قوى الحث: سبب هذه القوى هو وجود مجاميع مستقطبة في سلسلة البوليمر تؤثر على المجاميع المحيطة بها غير المستقطبة فتؤدي الى حدوث استقطاب جزئي في هذه المجاميع، وهي لا تعتمد على درجة الحرارة.

ج-قوى الانتشار: يرجع مصدر هذه القوى الى تغير العزم القطبي للجزيئات او المجاميع مع الزمن الا ان المحصلة تساوي صفر ويرجع السبب في تغير العزم القطبي الى الوضعيات الالكترونية المختلفة والتي تتخذها الالكترونات حول نواة كل ذرة، مما يؤدي الى اضطراب في المجاميع الالكترونية للذرات المجاورة، وهذا يؤدي الى توليد قوى جذب تدعى قوى الانتشار وهذا النوع موجود في معظم الجزيئات ولا يعتمد على درجة الحرارة.

د-الاصرة الهيدروجينية: توجد هذه الاواصر بين الذرات المرتبطة بذرة الهيدروجين وذرة حاوية على مزدوج الكتروني ويكون الارتباط من خلال ذرات الهيدروجين وتنشأ هذه الاواصر بين مجموعتين فعاليتين في الجزيئة نفسها او تنشأ بين مجموعتين فعاليتين موجودتين على جزيئتين مختلفتين، ومن اهم المجاميع القادرة على تكوين الاواصر الهيدروجينية هي مجاميع الكربوكسيل COOH ، ومجاميع الاميدات CONH_2 والامينات NH_2 ، والهيدروكسيل OH .

2-6 مكونات المواد المركبة البوليمرية

(Compositions of Polymer Composite Materials)

هي عبارة عن جمع او ربط مادتين او اكثر لتكوين مادة جديدة تمتاز بصفات جديدة وتختلف عن صفات المواد المكونة لها لتكون اكثر ملائمة للتطبيقات الصناعية [38]. ان صفات المواد المركبة البوليمرية تعتمد على ثلاثة عناصر رئيسية هي [10،40]:

- 1- المادة الاساس (Matrix Material)
- 2- مواد المضافة (Additives Materials)
- 3- السطح البيني وقوة التلاصق (interfacial Surface)

2-6-1 المادة الاساس

وهي احدى المكونات المهمة للمادة المركبة اذ تعد المادة الرابطة لهذه المكونات وتعرف ايضاً بمادة الوسط وتكون هي ناقلة للاجهادات التي تتعرض لها المادة المركبة الى مادة التقوية. ان مقاومة المادة المركبة لدرجات الحرارة والتفاعل الكيميائي وتأثير الرطوبة تعتمد على المادة الاساس، و تتصف المادة الاساس بانها ذات معامل مرونة قليلة وذات صلادة ومقاومة منخفضة مقارنة مع مادة التقوية لذا عند مزج مادة الاساس مع مادة التقوية يمكننا الحصول على مادة متراكبة جديدة ذات

مقاومة وصلادة عاليتين، والمهم في هذا البحث هو المادة البوليمرية بوصفها مادة اساس إذ يمكن تصنيفها على نوعين اساسيين هما [41، 42]:

1-1-6-2 البوليمرات المطاوعة للحرارة

(Thermoplastic Materials)

وهي نوع من انواع المواد اللدائنية وتتكون من سلاسل طويلة وتكون جزيئاتها مترابطة بعضها مع بعض بشكل خطي او متفرع بقوى فاندرفالز الضعيفة نسبياً، فعند تسخين هذه المواد فان القوى بين الجزيئات تضعف، مما يؤدي الى تليينها وجعلها مرنة، وبعدها تتحول الى منصهرات لزجة في درجات الحرارة العالية، لان السلاسل البوليمرية في المنصهر تصبح حرة الحركة حيث تعتمد هذه السلاسل اعتماداً كلياً على درجة الحرارة، ولهذا السبب يكون المنصهر بهيئة سائل لزج قابل للحركة والتنقل، وعند خفض درجة الحرارة ترجع هذه المواد الى حالتها الطبيعية، حيث تنقيد الحركة الانتقالية للسلاسل وتصبح مقتصرة على الحركة الموضعية للسلاسل، ومن الامثلة على هذا النوع من البوليمرات هو البولي اثلين، والبولي كلوريد الفينيل، والنايلون [43، 44].

2-6-1-2 البوليمرات غير المطاوعة للحرارة :

(Thermosetting Materials)

تترتب (تتشابك) الذرات في الجزيئات بشكل ثلاثي الابعاد مع اتصال عرضي متواتر او متكرر الحدوث بين السلاسل، ولهذا تكون هذه السلاسل غير قابلة للانزلاق الواحدة فوق الاخرى حتى بارتفاع درجة الحرارة، وتكون هذه المواد اقوى وامتن من البوليمرات المطاوعة للحرارة [45]، ولكن مع الارتفاع الكبير في درجة الحرارة فانها تعاني تغيرات كيميائية، حيث تتشابك السلاسل البوليمرية وتصبح صلبة غير ذائبة وغير قابلة للانصهار، و رديئة التوصيل للحرارة [36، 44] واذا ما وصل التسخين الى درجة كافية لتكسير الاواصر فيحصل التحلل (Degradation)، ومن الامثلة على هذه البوليمرات هو راتنجات الايبوكسي [3].

2-6-1-3 المطاط (Elastomers)

وتشمل هذه التسمية على البوليمرات المتمثلة بالمطاط بانواعه وهذه تمتاز بمواصفات خاصة كالاستطالة (extensibility) بالضغط وقابليتها على التمدد والتقلص (Resilience or Resiliency)، ان قابلية البوليمرات لظهور صفة المرونة تعتمد على طبيعة تركيب الجزيئات البوليمرية ذات السلاسل الطويلة المرنة والمتواجدة في وضعيات ملتفة على بعضها، وبصورة عامة تكون درجة حرارة الانتقال الزجاجية للبوليمرات المرنة اوطىء من درجة الحرارة التي تستخدم فيها حيث تكون السلاسل البوليمرية حرة في الحركة الموضعية [9]. وتقسم البوليمرات المرنة على طبيعية مثل المطاط الطبيعي (Natural rubber)، وصناعية (Synthetic) مثل مطاط الاكريلونتريل- بيوتادين التي تنتج بعمليات بلورة مختلفة [36].

2-6-2 المواد المضافة (Additive Materials)

ان الغرض الاساس من اضافة مواد التقوية او هو من اجل تقليل الكلفة وتحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية للمادة الاساس، اذ انها تعمل على زيادة متانة المادة الاساس فيجب ان تكون ذات قوة وجساءة اكبر بالنسبة للمادة الاساس، فضلاً عن هاتين الصفتين تكون مقاومة للبلى وتحسن خواص

الموصلية الحرارية والكهربائية وحسب نوع المادة المستعملة وتغير ميكانيكية الفشل بشكل ايجابي [46،47].

والشائع في هذه المواد يكون بشكل اليف لان العيوب تؤثر بصورة ملحوظة على متانتها إذ ان الشكل الهندسي للالياف يكون اكثر فعالية من اشكال التقوية الاخرى مثل الدقائق والقشور في تقليل العيوب بسبب صغر المساحة المعرضة لها فضلاً عن نسبة (الطول/السك) او مايعرف النسبة الباعية التي تاخذ بنظر الاعتبار لكي ينقل الحمل بشكل متساو بين مواد التقوية [6،15]. وتصنف المواد المركبة حسب نوع المادة المستعملة في التقوية على : [40،48]

- 1-المواد المركبة المدعمة بالدقائق.
 - 2-المواد المركبة المدعمة بالالياف.
 - 3-المواد المركبة المدعمة بالمائات او المشتتات.
 - 4-المواد المركبة المدعمة بالصفائح.
 - 5-المواد المركبة المدعمة بالقشور.
- وفي هذا الفصل سنتطرق الى المواد المدعمة بالالياف والمدعمة بالدقائق والمشتتات والقشور:

2-6-2-1 المواد المركبة المدعمة بالدقائق:

(Particles Composite Materials)

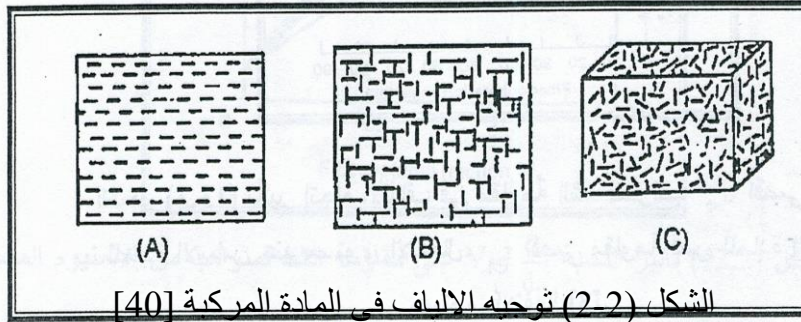
وهي مواد مشابهة للمواد المركبة المدعمة بالتشتيت ،ولكن قطر الدقائق يزيد عن (1μ) وكسرها الحجمي يصل الى اكثر من 25% وان توزيع الدقائق في المادة الاساس يكون بشكل عشوائي ،لذلك فالمقاومة وبقيّة خواص المادة المركبة تكون متماثلة [3،49].

ان نوع هذه الدقائق اما فلزية او لافلزية ويعتمد على حجمها لغرض زيادة مقاومة الزحف وتحسين معامل التمدد الحراري ومقاومة الصدمة ،ويطلق على هذا النوع من المواد المقوية بالحشوات (Fillers) ،وتكون على اشكال عدة منها الكروية والقشرية والابرية والخيطية وتعتمد خواص المواد المركبة على خواص الحشوات وكسرها الحجمي [50،36]. ان الدقائق تنقسم الحمل المسلط مع المادة الاساس أي لها القابلية على حمل الاجهاد المسلط على المادة المركبة، من هذا يمكن عد المواد المركبة المقواة بالدقائق تملك سلوكاً وسطياً (بين المواد المقواة بالتشتيت والمواد المقواة بالالياف) لذا ففي هذه المواد تكون الدقائق صغيرة جداً. وتكون الية التقوية باعاقبة الانخلاعات فقط ولهذا كل التحميل يقع على المادة الاساس [10].

2-6-2-2 المواد المركبة المدعمة بالالياف:

(Fibrous Composite Materials)

ان اغلب المواد المركبة التي يتم تقويتها بالالياف يمكن ان تكون فلزاً او سيراميكاً او مادة بوليمرية والتي من الممكن ان تمثل مادة الالياف في الوقت نفسه. وتكمن اهمية التقوية بالالياف في ان مقاومة الشد ومعامل المرونة يكونان اكبر مما للمادة الرابطة (الوسط) والتي تعمل على توزيع الحمل على الالياف مما يؤدي الى زيادة الخواص الميكانيكية للمادة المركبة وفي الوقت نفسه فان مقاومة المادة المركبة يجب ان تكون اقل من مقاومة الالياف لو كانت لوحدها وتملك مقاومة عالية نسبياً الى الوزن لكي تكون مادة جيدة صناعياً [51]. والشكل (2-2) يوضح توجيه الالياف في المادة المركبة [40].



الشكل (2-2) توجيه الاليف في المادة المركبة [40]

A: ذات اتجاه واحد. B: ذات اتجاهين. C: عشوائية.

ان خواص المواد المركبة المدعمة بالاليف تعتمد بشكل كبير على الاليف المستخدمة في عملية التقوية مثل قطر الليف، طول الليف، نسبة الكسر الحجمي، وشكل، وتوزيع، وترتيب الليف. حيث ان الاليف المستخدمة في عملية التقوية تكون اما مستمرة او متقطعة (قصيرة) مرتبة باتجاه واحد او باتجاهات عدة او موزعة بشكل عشوائي ثنائي او ثلاثي الابعاد [52].

ان عملية الترابط بين الاليف والوسط تؤثر تأثيراً رئيسياً على الخواص الميكانيكية والفيزيائية للمواد المركبة، إذ ان الاجهادات المؤثرة على المادة الاساس تنتقل الى الاليف عن طريق اصرة الترابط، لذا يجب ان يكون هذا الترابط قوياً يمنع الانفصال او الانسحاب بفعل الاحمال الخارجية. ان نسبة طول الليف الى قطره تكون مهمة جداً وتختلف حسب نوع المادة كما ان خواص المادة المركبة ذات الاليف القصيرة تعتمد بشكل كبير على هذه النسبة إذ كلما كانت النسبة كبيرة كلما كانت مقاومة المادة ومتانتها عالية [52].

ان كمية الاليف في المادة المركبة تعرف بدلالة الكسر الحجمي (V_F) إذ يمثل نسبة حجم الاليف V_f الى حجم المادة الاساس V_c [10،53]

$$V_F = V_f / V_c \quad (2-1)$$

إذ إن

V_f : الكسر الحجمي الأليف .

V_f : حجم الأليف .

V_c : حجم المركب .

وفي بعض الأحيان يصبح من الضروري حساب كمية الأليف بدلالة الكسر الوزني (Weight Fraction) وذلك عند حساب كثافة الليف المستخدم في عملية التقوية . ويمكن ربط الكسر الوزني بالكسر الحجمي بالعلاقة الآتية :

$$W_f = w_f / w_c = \rho_f V_f / \rho_c V_c = \rho_f / \rho_c \times V_f \quad (2-2)$$

إذ أن

W_f : الكسر الوزني الأليف .

w_f : وزن الأليف .

w_c : وزن المركب .

ρ_f : كثافة الألياف.

ρ_c : كثافة المركب .

2-6-2-2-1 مركبات الألياف المستمرة

(Continuous Fibrous Composites)

في هذا النوع من المركبات يتم استخدام ألياف مستمرة تطمر في المادة الوسط بحيث يكون كل ليف من الألياف موازٍ إلى الآخر , أو قد يتم صنع شبكة (حصيرة) من هذا الألياف وذلك لتحسين الخواص الاتجاهية للمركب [3] .

إن التشوه الحاصل في المركبات المدعمة بالألياف يعتمد على اتجاه الألياف , ففي الإجهاد المنخفض فإن كل من الألياف والوسط ينفعان انفعالا مرنا , وفي حالة زيادة الإجهاد فإن الوسط يمكن أن يتشوه تشوها لدنا بينما تبقى الألياف في حالة انفعال مرن , ويحدث الفشل في المركب إما بفشل الألياف أو بفشل المادة الرابطة اعتمادا على المطيلية لكليهما [54] . ويمكن إن تكون هذا المركبات غير متماثلة الخواص (Anisotropic) , إذ إن معاملات المرونة المقاسة باتجاه الألياف تكون أعلى من تلك التي في الاتجاه العمودي عليها [55] .

على افتراض أن الألياف المستخدمة أحادية الاتجاه ومنتظمة ووجود ترابط جيد بين الألياف والمادة الوسط , فعند تسليط حمل معين على المادة المركبة باتجاه موازٍ إلى اتجاه الألياف فإنه سيتوزع على كل من الوسط والألياف كما موضح بالشكل (2-3) ووفقا للمعادلة الاتية (معادلة التوازن) [54] :

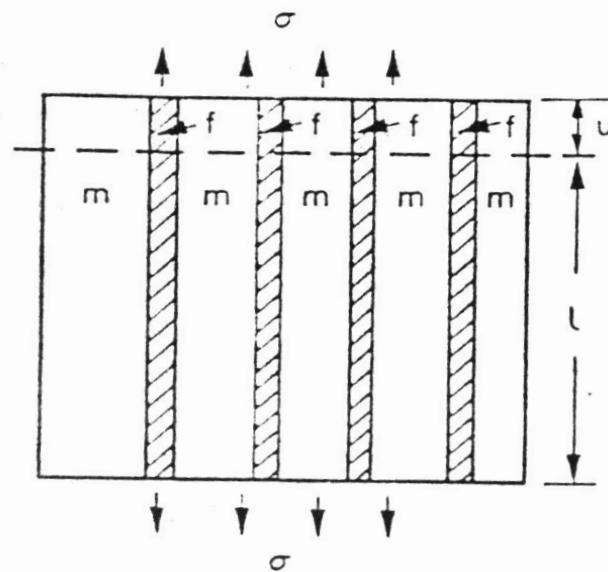
$$P_c = P_f + P_m \quad (2-3)$$

إذ إن

P_c : الحمل المسلط على المادة المركبة .

P_f : الحمل المسلط على الألياف .

P_m : الحمل المسلط على مادة الوسط .



الشكل (2-3) مركب مقوى ومحمل بالاتجاه الطولي للألياف

وبما إن الجهد (σ) يمثل القوة المسلطة (P) لوحدة المساحة (A) :

$$\sigma = P/A \quad (2-4)$$

وبتعويض المعادلة (2- 4) بالمعادلة (2-3) ينتج :

$$\sigma_c A_c = \sigma_f A_f + \sigma_m A_m \quad (2-5)$$

إذ إن :

$\sigma_m, \sigma_f, \sigma_c$: الإجهاد المسلط على المادة المركبة والألياف والوسط على التوالي .
 A_m, A_f, A_c : مساحة المقطع للمادة المركبة والألياف والوسط على التوالي .

وبالقسمة على :

$$\sigma_c = \sigma_f (A_f/A_c) + \sigma_m (A_m/A_c) \quad (2-6)$$

إذ إن :

A_f/A_c : كسر المساحة للألياف .

A_m/A_c : كسر المساحة للوسط .

فإذا كانت الألياف ذات المقطع عرضي منتظم وذات أطوال مساوية إلى طول مادة الوسط فإن كسر المساحة سوف يصبح مساوياً للكسر الحجمي لكل من الليف والوسط [2]:

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \quad (2-7)$$

و إذ أن

$$V_f + V_m = 1$$

لذا ستكون المعادلة (2-7) بالشكل :

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m (1-V_f) \quad (2-8)$$

وتصبح المعادلة (2-8) في منطقة المرونة الخطية من منحنى الإجهاد- الانفعال .
 وبما إن الترابط جيد بين الألياف والمادة الوسط , لذا فإن الانفعال سيكون متساوياً في كل من الألياف والمادة الوسط ،ومن ثم مساوياً للمادة المركبة , وتعرف هذه الحالة بحالة تساوي الانفعال (Iso - Strain) :

$$\epsilon_c = \epsilon_f = \epsilon_m \quad (2-9)$$

إذ إن :

$\epsilon_m, \epsilon_f, \epsilon_c$: الانفعال الحاصل في المادة المركبة والألياف و الوسط على التوالي
 بما إن

$$\sigma = E \epsilon$$

يمكن كتابة المعادلة (2-6) بالصيغة :

$$E_c \epsilon_c = E_f \epsilon_f V_f + E_m \epsilon_m (1-V_f) \quad (2-10)$$

إذ إن

E:معامل المرونة (معامل يونك Young's Modulus) الذي يمثل النسبة بين الإجهاد إلى الانفعال .
بما إن

$$V_m = 1 - V_f$$

وبتطبيق المعادلة (2-9) ينتج [30]:

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \quad (2-11)$$

ويطلق على المعادلة (2-11) بقاعدة الخلط (Rule of Mixture) التي تنص على إن معامل المرونة للألياف الممتدة طولياً في المادة المركبة تتناسب طردياً مع كسور الحجوم للمواد الداخلة في تركيبها . وتستخدم المعادلة (2-11) لإيجاد معامل المرونة للمادة المركبة ولإيجاد كثافة المركب , وكذلك تستخدم لإيجاد خواص أخرى مثل المقاومة ، والتوصيل الحراري ، والتوصيل الكهربائي باتجاه الليف [2]. إن الحمل المسلط على الليف ينتج من حاصل ضرب الإجهاد في مساحة مقطع الليف وكذلك هو الحال في المادة الوسط كما مبين في المعادلة الآتية [54]:

$$\text{Load carried in fiber} / \text{Load carried in Matrix} = \sigma_f A_f / \sigma_m A_m \quad (2-12)$$

وبما أن

$$\sigma = E \varepsilon$$

إذا ستكون المعادلة (2-12) بالصيغة :

$$P_f / P_m = E_f \varepsilon_f A_f / E_m \varepsilon_m A_m \quad (2-13)$$

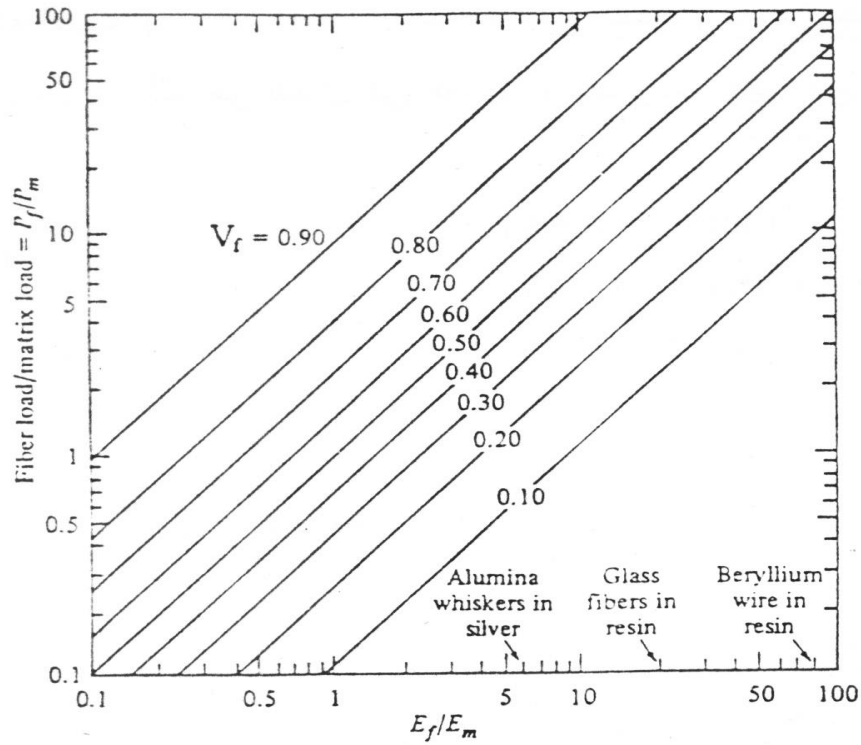
وبما إن

$$\varepsilon_f = \varepsilon_m , \quad A_f / A_m = V_f / V_m$$

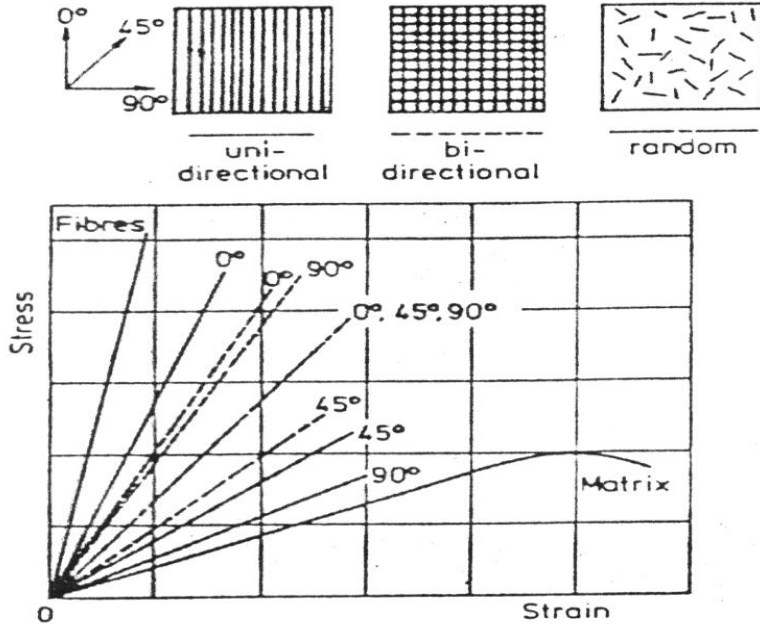
إذا يمكن كتابة المعادلة (2-13) بالصيغة الآتية :

$$\text{Load in Fiber} / \text{Load in Matrix} = P_f / P_m = E_f V_f / E_m V_m \quad (2-14)$$

يمكن تمثيل المعادلة (2-14) بيانياً كما موضح بالشكل (2-4) الذي يعطي قيم نسب الأحمال من قيم نسب معامل ولكسور حجمية مختلفة للألياف .



الشكل (2-4) العلاقة بين نسب معامل المرونة والحمل [3]
إن تصرف المواد المركبة المدعمة بألياف مستمرة يقع في مكان ما بين تصرف الألياف والمادة
الوسط في منحنى الإجهاد - الانفعال كما موضح في الشكل (2-5).



شكل (2-5) يمثل تغير الإجهاد مع الانفعال لأنواع مختلفة من التقوية بالألياف وباتجاهات مختلفة [3]
وفيما يتعلق بأعظم إجهاد شد للمركب (σ_{cu}) فإن قاعدة الخلط يجب أن تحوّل بالاعتماد على إجهاد
الوسط (σ'_m) عند الانفعال الذي يحصل عنده انكسار الألياف بدلاً من أن يعتمد على مقاومة أعظم
إجهاد شد لمادة الوسط (σ_{mu}), والسبب في ذلك يعود إلى أن الفشل في المركب سوف يحدث عندما

تصل الألياف الهشة (Brittle Fibers) إلى انفعال الانكسار الخاص بها . عند هذه النقطة يكون الوسط خاضعا إلى كل الحمل المسلط والذي عنده لا يمكن الصمود . إن أعظم مقاومة إجهاد للمركب يمكن إن تحسب من قاعدة الخلط [56] :

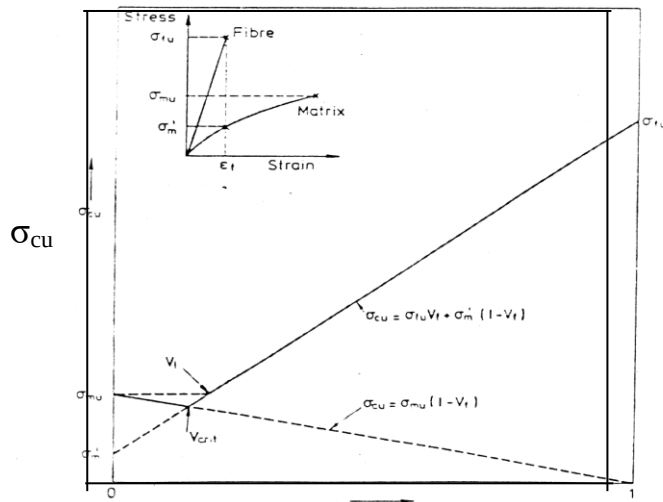
$$\sigma_{cu} = \sigma_{fu} V_f + \sigma'_m V_m \quad (2-15)$$

إذ أن

σ_{fu} : أعظم إجهاد شد للألياف .

σ_m : إجهاد الوسط عند انفعال الكسر للألياف.

ويمكن تطبيق المعادلة (2-15) عندما يكون الكسر الحجمي للألياف أكبر من قيمة معينة حرجية (V_{crit}) كما موضح بالشكل (2-6):



شكل (2-6) تأثير الكسر الحجمي على مقاومة الإجهاد [46]

من الشكل (2-6) يمكن استنباط العلاقة الآتية :

$$\sigma_{mu} (1 - V_{crit}) = \sigma_{fu} V_{crit} + \sigma'_m (1 - V_{crit}) \quad (2-16)$$

بترتيب حدود المعادلة (2-16) يتم استخراج معادلة الكسر الحجمي الحرج (V_{crit}):

$$V_{crit} = \frac{\sigma_{mu} - \sigma'_m}{\sigma_{fu} + \sigma_{mu} - \sigma'_m} \quad (2-17)$$

إذ إن

σ_{mu} : أعظم إجهاد شد للوسط .

ويظهر تأثير التقوية بالألياف عندما ($\sigma_{cu} > \sigma_{mu}$) وعندما يكون الكسر الحجمي للألياف أكبر من قيمة معينة هي (V_1). ومن الشكل (2-6) يمكن كتابة المعادلة الآتية :

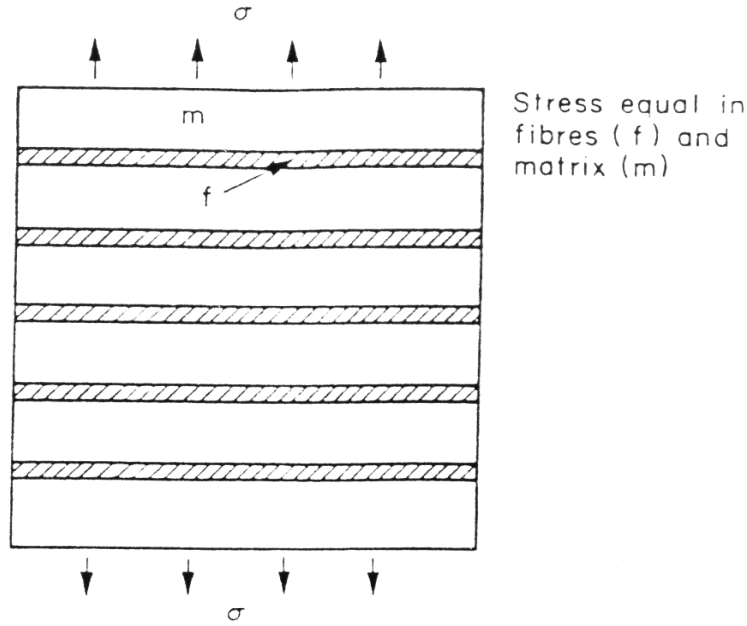
$$\sigma_{mu} = \sigma_{fu} + \sigma'_m(1-V_1) \quad (2-18)$$

وبترتيب حدود المعادلة (2-18) يتم الحصول على المعادلة الآتية :

$$V_1 = (\sigma_{mu} - \sigma'_m) / (\sigma_{fu} - \sigma'_m) \quad (2-19)$$

عملياً وجد بان أعظم كسر حجمي (V_{max}) يمكن الحصول في المركبات ذات الألياف الطويلة المستمرة الأحادية الاتجاه هو بحدود (0.8)، ولذلك فالمصممون يجب إن يختاروا نسب الكسور الحجمية بين ($V_1 \rightarrow V_{max}$). وبصورة عامة وجد انه على الرغم من تخمين صلابة المركب بدقة من المعادلة (2-11) فان المقاومة عادة بحدود (65%) من القيمة المنسوبة بواسطة قاعدة الخلط [46]. أما في حالة التحميل العرضي (Transverse Loading) فان الإجهاد سيكون متساوياً في كل من الألياف ومادة الوسط ومن ثم يكون مساوياً للمادة المركبة , وتعرف هذه الحالة بحالة تساوي الإجهاد (Iso- Stress) [1] كما موضح بالشكل (2-7) ووفقاً للمعادلة الآتية :

$$\sigma_c = \sigma_f = \sigma_m \quad (2-20)$$



شكل (2-7) مركب مقوي ومحمل بالاتجاه العرضي للألياف [40]
أن الانفعال الكلي الحاصل في المادة المركبة (ϵ_c) سيكون مجموع الانفعال الحاصل في كل من الألياف (ϵ_f) والمادة الوسط (ϵ_m) :

$$\epsilon_c = \epsilon_f V_f + \epsilon_m V_m \quad (2-21)$$

وبما إن

$$\sigma = E\epsilon$$

إذا ستصبح المعادلة (2-21) بالصيغة :

$$\sigma_c/E_c = \sigma_f/E_f \times V_f + \sigma_m/E_m \times V_m \quad (2-22)$$

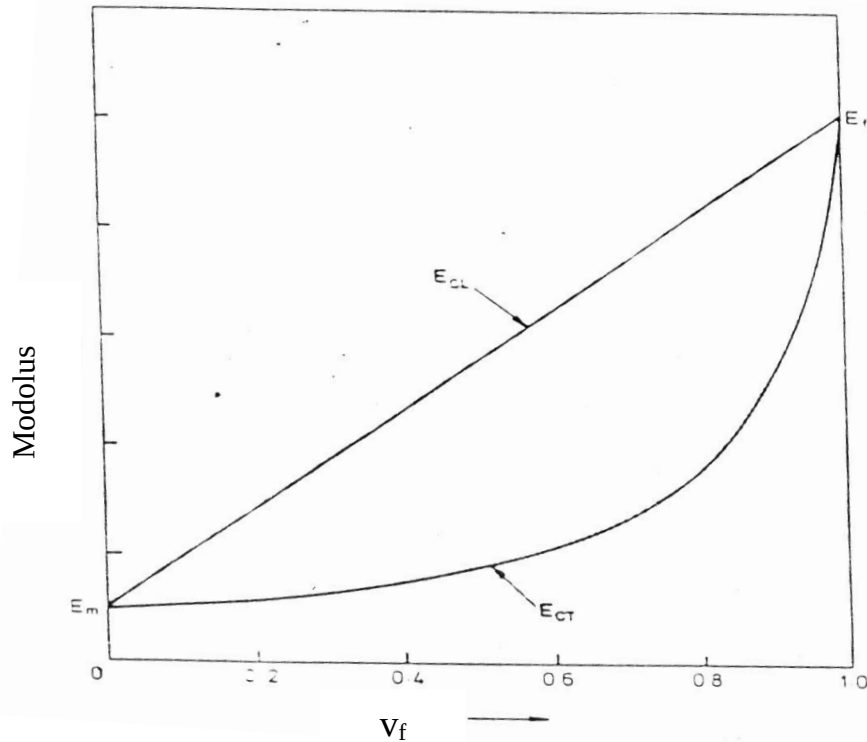
وبتطبيق المعادلة (2-20) يتم الحصول على المعادلة الآتية :

$$1/E_c = V_f/E_f + V_m/E_m \quad (2-23)$$

وبترتيب المعادلة (2-23) ينتج :

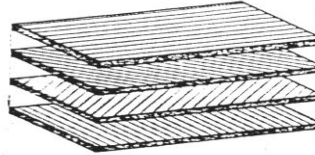
$$E_c = E_f E_m / (E_f V_m + E_m V_f) \quad (2-24)$$

إن المقاومة العرضية للمركبات التي تحتوي على ألياف مستمرة أحادية الاتجاه تتحدد عوامل عدة منها خواص كل من الألياف، والمادة الوسط، مقاومة سطوح الترابط بين الألياف والمادة الوسط، وجود وتوزيع الفجوات، وتوزيع الإجهاد، والانفعال داخل المادة [1].
إن الفشل في المادة المركبة بفعل الشد العمودي على اتجاه الألياف يحصل عند إجهادات منخفضة تبلغ تقريباً نصف مقاومة الوسط (σ_{mu})، وذلك بسبب تركز الإجهادات على السطوح الفاصلة بين الألياف والوسط مما يؤدي إلى انخفاض مقاومة الوسط في المادة المركبة [46]. إن الشكل (2-8) يوضح كيفية تغير معامل المرونة للمادة المركبة لحالة تساوي الانفعال (Iso-Strain) وحالة تساوي الإجهاد (Iso-Stress)، مع الكسر الحجمي للألياف، إذ يمثل الحدود المطلوبة للتصميم وإن معظم النتائج التي يتم الحصول عليها عملياً تقع ضمن تلك الحدود [54].



الشكل (2-8) معامل المرونة للمادة المركبة بوصفها دالة للكسر الحجمي للألياف [46].

ونظراً لكون خواص هذه المواد غير متماثلة اتجاهياً (Anisotropic)، لذا يمكن التغلب على هذه الحالة ع
مع مادة مركبة تتكون من طبقات عدة رقيقة مشدودة بعضها إلى بعض، وتحتوي
كل طبقة
بتمرة مرتبة طولياً وعرضياً وبزوايا مختلفة أو على هيئة شبكة (حصيرة) مما
يجعل خواص المركب أكثر تماثلاً، حيث تزداد مقاومة الشد والصلابة ومعامل المرونة مع زيادة زوايا
التشبيك للطبقات [3] كما موضح في الشكل (2-9).



ش (2-10)

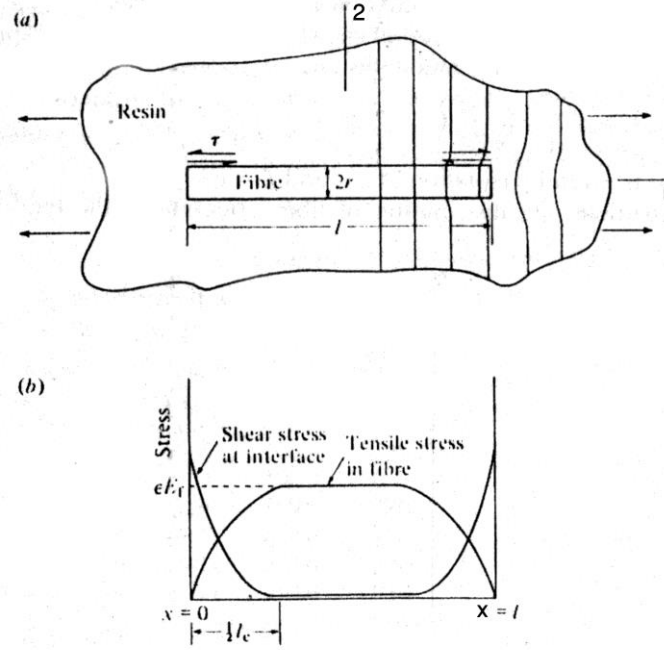
شكل (2-9) مركب مكون من طبقات عدة مقواة بالالياف [3]

2-6-2-2-2 مركبات الألياف القصيرة

(Short Fibrous Composites)

تمتاز الألياف القصيرة بمقاومة تكون اكبر بكثير من مقاومة الألياف المتواصلة الطويلة وهي غالباً ما توجد على شكل بلورات شعرية (Whiskers) أو شعيرات متقطعة. لذلك فإن أغلب المواد المركبة المدعمة بألياف قصيرة طورت لتطبيقات هندسية [46]. ومن العوامل التي تؤثر على مقاومة مركبات الألياف القصيرة هي طول الليف إلى قطره، مقاومة سطوح الترابط بين الألياف والمادة الوسط لإجهاد القص، وكمية الألياف الموجودة في المادة الوسط [52].

إن الشكل (2-10) يوضح عينة من ليفة بطول (L) مطمورة بوسط ذات معامل مرونة منخفض. فعند تسليط إجهاد شد مواز إلى الليفة فإن المنطقة المحيطة بالليفة القصيرة المطمورة في المادة الوسط سوف تنتشوه كما في الشكل (2-10a). وعلى شرط أن مادة الوسط والليفة تبقى ضمن حدود المرونة وكذلك وجود ترابط مثالي بين الليفة والمادة الوسط فإن إجهاد الشد عند طرفي الليفة سيكون مساوياً إلى الصفر، ويصل إلى أقصى قيمة له في الجزء الوسط من الليفة. في حين إن أعظم إجهاد قص عند طرفي الليفة وينخفض على الأغلب إلى الصفر في الجزء الأوسط من الليفة كما موضح بالشكل (2-10b) [46].



شكل (2-10) : (a) التشوه الحاصل في مركبات الالياف القصيرة
(b) تغير اجهادات الشد والقص على طول الليفة [46]

ولتعيين مقاومة المركب فيجب تعديل المعادلة (2-7) لتتضمن قيمة كل من الإجهاد المركب المتوسط للليف (σ'_f) وإجهاد الوسط عند الانفعال الذي يحصل عنده انكسار الليف (σ'_m) وفقاً للمعادلة الآتية [46,54]:

$$\sigma_c = \sigma'_f V_f + \sigma'_m V_m \quad (2-25)$$

وبما أن قيمة (σ'_f) تعتمد على الطول الحرج للليف (L_c) وعلى أعظم إجهاد شد للألياف (σ_{fu}) لذا يمكن كتابة المعادلة (2-25) بالصيغة :

$$\sigma_c = \sigma_{fu}(1 - L_c/2) + \sigma'_m V_m \quad (2-26)$$

- كما يمكن ان نخلص العوامل المؤثرة على مقاومة مركبات الالياف القصيرة بالشكل الآتي:
- أ- **طول الليف الفعال**: اذ يجب استعمال طول ليف مناسب ويكون اما مستمراً او متقطعاً حيث اذا كان متقطعاً يجب ان يكون باطوال تتراوح ما بين (3-50 mm) لكي لا يحصل الكسر عند نهايتي الليف، ويدعى هذا بالطول الحرج للليف [10].
 - ب- **قطر الليف**: اذ كلما قل قطر الليف اصبح احتمال وجود عيوب اقل ومن ثم يحدث تحسن كبير في الخواص الميكانيكية وتتراوح اقطار الالياف المستخدمة للتقوية ما بين (7-100 μm) [52].
 - ج- **توجيه الالياف**: اذ كلما زاد التوجيه زادت الخواص الميكانيكية للمواد المركبة.
 - د- **ترتيب الالياف**: اذ يمكن ان يكون الليف مرتباً باتجاه واحد او باتجاهين او اتجاهات عدة وبشكل عشوائي او منتظم، اذ تمتلك المواد المركبة المدعمة بالالياف خواص اتجاهية لذا فان اتجاه تأثير الاجهاد نسبة الى اتجاه الليف عامل مهم ويؤثر على الخواص الميكانيكية [55].

هـ- **الكسر الحجمي**: اذ عند زيادة الكسر الحجمي للالياف تزداد مقاومة الشد للمواد المركبة، وقد لوحظ ان خواص المواد المركبة تبدأ بالانخفاض عندما يتجاوز الكسر الحجمي (0.8) بسبب ان هناك ضعفاً في ترابط الالياف والمادة الاساس من جهة والليف مع الليف من جهة اخرى وتكثر الفجوات عند النسب العالية ام عند نسب قليلة من الالياف تسلك المواد المركبة سلوك المادة الاساس [3].

2-6-2-3 المواد المركبة المدعمة بالمشتتات

(Diapered Composite Materials)

ينتج هذا النوع من المواد المركبة عن طريق تشتيت او توزيع الدقائق مستقرة ذات احجام صغيرة في المادة الاساس حيث تعتمد ميكانيكية التدعيم لهذا النوع من المواد بالدرجة الاساس على قطر (حجم) الدقائق الذي يتراوح بين (0.01-0.1) μm وتكون موزعة في الوسط بتركيز حجمي لا يتعدى 15% او اقل. ان الخواص الميكانيكية للمواد المركبة من هذا النوع تكون متماثلة في الاتجاهات جميعها (Isotropic)، وذلك لكون الدقائق موزعة بشكل عشوائي في المادة الاساس. وبذلك تعمل على زيادة حد المرونة وتقليل من اجهادات التشوه ومن اهم الامثلة على ذلك اكاسيد الفلزات مثل (AL₂O₃) التي تمتاز بتحملها للاجهاد واستقرارها الحراري العالي، حيث تشكل هذه الدقائق عقبة امام حركة الانخلاعات عند درجات حرارة عالية [10].

2-6-2-4 المواد المركبة المدعمة بالقشور

(Flakes Composite Materials)

للمواد المركبة المدعمة بالقشور (صفائح) تطبيقات عديدة اذ يستعاض بها عن الالياف حيث توضع القشور في المادة الاساس بشكل طبقات متوازية تعطي خواص متماثلة في اتجاهين ضمن الطبقة الواحدة. ان شكل القشور غالباً ما يكون بشكل مستوي مما يجعل تراصفها بشكل قريب بعضها مع البعض ضمن المادة الاساس وبذلك يعطي نسبة مئوية عالية في تقوية المواد المركبة لكل مساحة مقطع معينة، وبذلك يمكن استخدام القشور المعدنية بوصفها مادة تقوية لمادة اساس غير معدنية لتحسين الموصلية الحرارية والكهربائية للمواد المركبة، بينما يمكن استخدام قشور الزجاج والمايكا لتقليل الموصلية الحرارية والكهربائية [10].

ان خواص المواد المركبة المدعمة بالقشور تعتمد بشكل كبير على نسبة القطر المكافئ للقشور الى سمكها، اذ تحصل اكبر تقوية عندما تكون النسبة عالية، وكذلك تعتمد التقوية على قوة التلاصق بين القشور والمادة الاساس، هذان العاملان مهمان وضروريان لضمان انتقال الاجهادات المسلطة في المادة الاساس الى القشور، وذلك لمنع او تقليل حدوث انفصال القشور عن المادة الاساس. وهناك استخدامات تدخل فيها المواد المركبة المدعمة بالقشور مثل استعمال قشور المايكا في الدوائر الالكترونية، واستخدام قشور الزجاج مع الايبوكسي لصنع زعانف الموازنة، والمقدمة المخروطية للقذائف [3، 40].

يعد البولي اثلين من البوليمرات المهمة صناعياً وعلى مقياس ضخم جداً في العديد من المجمعات البتروكيمياوية في العالم. ففي عام 1898 قام Pechmann بتحضير مادة مشابهة تماماً للبولي اثلين من الداي ازوميثان في الايثر ولكن بسبب غلاء هذه المادة اصبح هذا البوليمر غير تجاري. ان البداية الحقيقية للمواد البلاستيكية الاوليفينية كانت في عام 1933 من R.O.Gibson و E.W.Faecett. من مختبرات (ICI) في انكلترا من خلال اكتشاف بلمرة الاثلين في مفاعل الضغط تحت ضغوط عالية ودرجات حرارة مرتفعة، فوجدا تكوين البولي اثلين تحت هذه الظروف. ثم طورت هذه الفكرة وبدأ الانتاج التجاري للبولي اثلين واطيء الكثافة من شركة (ICI) عام 1940، وفي عام 1952 اكتشف مساعد كارل زيكلر من معهد (Max-Blanck) في المانيا العامل المساعد (المتكون من تفاعل المركبات الانتقالية مع المركبات العضوية) الذي يمكن بواسطته بلمرة الاثلين في درجات الحرارة الاعتيادية وتحت الضغط الجوي وتحويله الى البولي اثلين عالي الكثافة. وفي الخمسينات طورت شركة (Philips) وشركة (Standard Oil) طرائق جديدة لبلمرة الاثلين باستخدام الاكاسيد الفلزية المسندة بوصفها عوامل مساعدة وباستخدام ضغوط وسطية تتراوح بين تلك المستخدمة في شركة (ICI) والمستخدمه في طريقة زيكلر، تعتمد طريقة (Philips) على استخدام اوكسيد الكروم المحمل على السليكا او السليكا-الومنيا، ام طريقة الزيت القياسي (Standard Oil) فقد استخدم في البداية اوكسيد النيكل المسند على الكاربون المنشط (A.C.)، اما الطريقة المعروفة الان فهي استخدام اوكسيد الموليبدنيوم المسند الى الالومينا (اوكسيد الالمنيوم) وقد طورت ايضا طرائق لبلمرة الاثلين في الطور الغازي من شركة (BASF)، وشركة (Union Carbide) [58،43].

2-7-2 تصنيف البولي اثلين (Classification of PE)

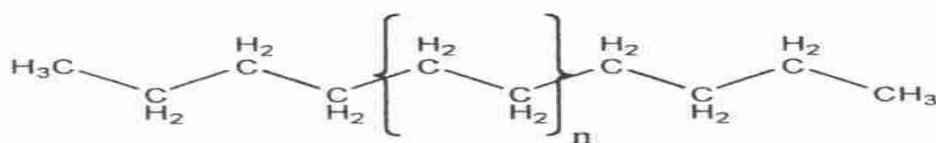
يصنف البولي اثلين حسب المواصفة (ASTM D1248) لسنة 1981 تبعاً لكثافته على خمسة اصناف [10,59]:

الجدول (2-1) انواع البولي اثلين [31]

الاسم	الرمز	الكثافة (gm/cm ³)
1 بولي اثلين واطيء الكثافة جدا	VLDPE	0.885-0.914
2 بولي اثلين واطيء الكثافة	LDPE	0.915-0.925
3 بولي اثلين متوسط الكثافة	MDPE	0.926-0.940
4 بولي اثلين عالي الكثافة	HDPE	0.941-0.959
5 بولي اثلين عالي الكثافة جدا	VHDPE	Higher or 0.960

2-7-3 البولي اثلين عالي الكثافة (HDPE)

يسمى ايضاً البولي اثلين الخطي اعتماداً على التركيب الجزيئي للبولي اثلين حيث يكون :



الشكل (2-11) التركيب الجزيئي للبولي اثلين [3]

يعد التبلور (Crytallinity) في البولي اثلين دالة لعدد التفرعات على طول السلسلة اذ عدد التفرعات الكثيرة يقلل التبلور بشكل كبير وعندما تزداد درجة التفرع بصورة كبيرة جداً فان البولي اثلين يصبح غير متبلور، اما البولي اثلين عالي الكثافة فيكون عدد التفرعات اقل من (5) تفرعات لكل (1000) ذرة كاربون في السلسلة الواحدة، وبذلك يكون نسبة التبلور حوالي 95% فضلاً عن ذلك فانه يحتوي بين (0.1-2.5) أصرة مزدوجة لكل (1000) ذرة كاربون في السلسلة [10,].

2-7-4 طرق تصنيع البولي اثلين

(Manufacturing of Polyethylene)

تقسم تقنيات تصنيع المواد المركبة ذات الاساس البوليمري اعتماداً على المادة المقواة والبوليمر المستخدم على:

1-القولبة بالكبس: وهي من الطرائق الاساسية في تصنيع المواد البوليمرية حيث تستخدم في تصنيع بعض الحاجيات البلاستيكية، وفي صناعة العوازل الكهربائية فكل ما تحتاجه العملية هو القالب الذي يتكون من جزئين ومعدات لتسخين جزئي القالب (mold) ومعدات الضغط، تتلخص هذه الطريقة بوضع كمية من مسحوق القولبة (powder molding) في الجزء السفلي من القالب ويسخن القالب الى ان يصبح المسحوق ليناً يتخذ شكل القالب، بعد ذلك ينطبق جزئي القالب على بعضهما ويبقى البوليمر تحت تأثير الضغط لفترة محددة من الزمن، ثم يفتح القالب لايخرج المادة [41, 58].

2-القولبة بالحقن: في هذه الطريقة من التصنيع يسخن البوليمر الى ان ينصهر مكوناً منصهرًا لزجاً ثم يقذف المنصهر الى داخل قالب بارد نسبياً ذي تجويف يمثل الشكل المراد انتاجه، ويتم ذلك عن طريق المكبس او الحلزون فيبرد المنصهر آخذاً شكل القالب ويتصلب، ثم يفتح جزء القالب ويقذف الجزء المصنوع الى الخارج، تتميز هذه الطريقة بالسرعة والدقة التصنيعية غير انها تحتاج الى معدات معقدة نسبياً مقارنة بطريقة القولبة بالكبس. تستخدم هذه الطريقة في صنع الهيكل الخارجي للراديو والتلفزيون او ما شابه ذلك [58].

3-القولبة بالنفخ: تستخدم هذه الطريقة من التصنيع في معظم البوليمرات التي يمكن نفخ منصهرها كما في الزجاج، اذ تصنع الحاجيات المجوفة مثل القناني البلاستيكية والحاويات ولعب الاطفال، وتتضمن ماحل القولبة بالنفخ صهر البوليمر او تليينه (softing)، ثم تكوين التشكيل الاولي والذي هو عبارة عن تركيب انبوبي يجري تكوينه بواسطة القذف او بواسطة البثق، ثم ينزل التشكيل الاولي بين نصفي القالب ثم ينغلق القالب على التشكيل الاولي ثم يتم نفخ التشكيل الاولي بواسطة تركيب خاص ليأخذ شكل القالب، وبعد فترة زمنية محددة تكفي لتبريد المنصهر بعد اخذه شكل القالب، ينفث نصف القالب وتخرج المادة المصنوعة [41].

4-القولبة بواسطة البثق: تتضمن هذه الطريقة من التصنيع صهر الحبيبات البوليمرية وتحويلها الى منصهر متجانس بواسطة المزج والتسخين، ثم ضخ هذا المنصهر عبر فوهة التشكيل (Die) مكوناً تراكيب ذات اشكال منتظمة مثل الصفائح البلاستيكية والانابيب والاعمدة، حيث تتألف من مستودع

لحبيبات البوليمر التي تزود البائقة بالحبيبات، ثم تنزل هذه الحبيبات على تركيب حلزوني (screw) يتحرك دورانياً داخل اسطوانة التسخين، نتيجة لحركة الحلزون يندفع البوليمر تدريجياً الى الامام وباندفاعه الى الامام ترتفع درجة حرارته ويتجانس بسبب المزج الذي تسببه حركة الحلزون، وعندما يبلغ مقدمة البائقة يتحول الى منصهر متجانس ثم يندفع الى الامام خلال مصفاة خاصة (screen) موجودة داخل الحلزون واخيراً يصل منصهر البوليمر الى فوهة القذف (Die) ليأخذ الشكل المطلوب على هيئة انبوب او صفائح او غير ذلك [58,59].

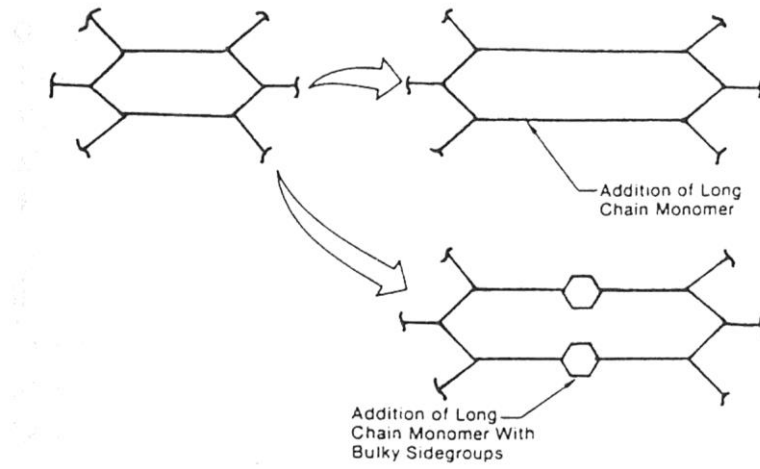
2-8 تمثين البوليمرات (Toughening Polymers)

ان اليات تمثين المواد تخضع الى مقاربات التمثين إذ ان حدود المتانة في المادة الاساس تنتج بصورة مباشرة نتيجة الهشاشة بسبب اما كونها ذات ترابط عرضي او يكون تركيب البوليمر زجاجي، إذ ان هذه التراكيب الهشة تكون ذات فوائد ومساوئ ومن مساوئها تكون هشة عند الاحمال الصدمية ونتيجة العشوائية لذا تختلف الخواص حسب الاتجاه حيث تكون متانتة المواد المركبة اكثر تعقيدا من المواد المتجانسة، ان كثافة التشابكات ووجود السلاسل القصيرة بين التشابكات تقيد حركة السلاسل وتجعله اكثر جساءة، وذا مقاومة حرارية اعلى والجساءة تنتج في الهشاشة حيث استطالة اقل ومقاومة صدم اقل وان هناك اربعة انظمة مستخدمة لتحسين متانة المواد هي [60]:

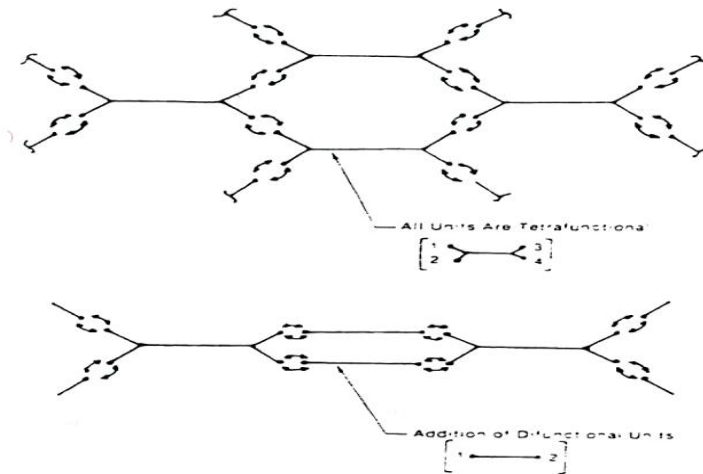
- 1- تعديل الشبكة (Network Alteration)
- 2- الطور الثاني المطاطي (Rubber –Elastomer-second phase Toughening)
- 3- تمثين بالثرمو بلاستيك المرن (The Thermoplastic Elastomer Toughening)
- 4- تصفيف بيني (Inter Layering)

وسيتم شرح كل منها وبشكل مختصر إذ :

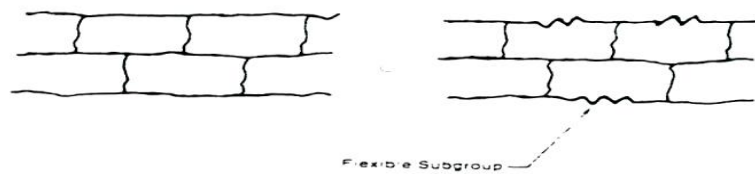
- 1- تعديل الشبكة (Network Alteration): خلال التراكيب الهشة في البوليمرات غير المطاوعة للحرارة ونتيجة وجود كثافة تشابكات لذا فان احد طرق تمثين مثل هذه المواد هو تقليل هذه التشابكات، كما ان تقليل كثافة التشابكات ينتج ايضا تقليل في بعض الخواص المرغوبة مثل T_g ومعامل المرونة. والشكل (2-12) يوضح تقليل التشابكات باضافة المونومرات اما الشكل (2-13) فيوضح تأثير المونيمر على التشابك والشكل (2-14) الية التمثين بهذه الطريقة.



الشكل (2-12) تقليل التشابكات بمونومرات طويلة السلسلة



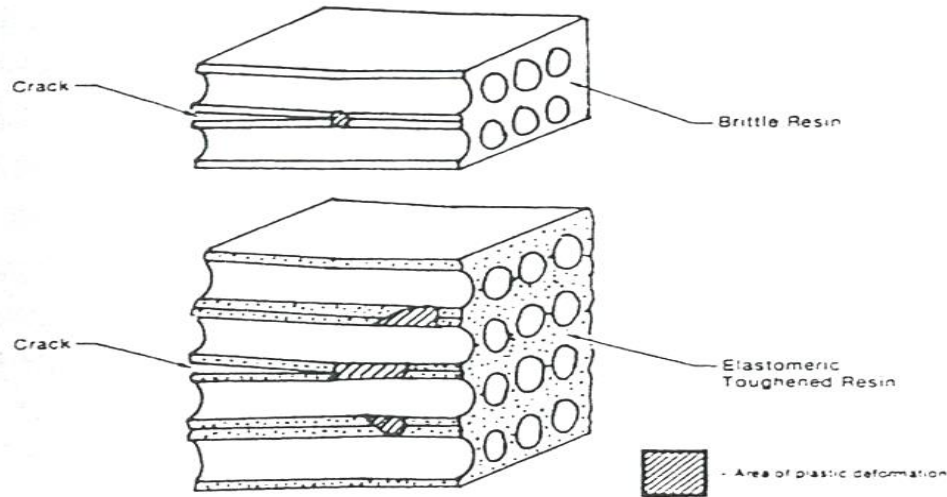
الشكل (2-13) تأثير المونومير على التشابك



الشكل (2-14) التمتين بمجاميع فرعية مرنة

2- الطور الثاني المطاطي (Rubber –Elastomer-second phase Toughening): عندما يبدأ الشق في الجسم الزجاجي الهش وحيث يتطلب طاقة قليلة للنمو. ففي المواد المركبة المقواة بالالياف

تعمل الاليف على اعاقه نمو الشق في المستوي وكذلك يستخدم طور المطاط الثاني لمنع نمو الشق الداخلي وتساعد الدقائق المطاطية على اعاقه الشق من خلال نشر جريان لدن كبير عند قمة الشق ونحصل على الطور المطاطي المشتت الذي يكون مذابا براتنج سائل والتي تعد بوصفها مادة مضافة والتي تعتمد كميتها على التوافقية (Compatibility) بين المادتين عندما تكون الاصرة ضعيفة. والشكل (2-15) يوضح عمل هذه الالية.

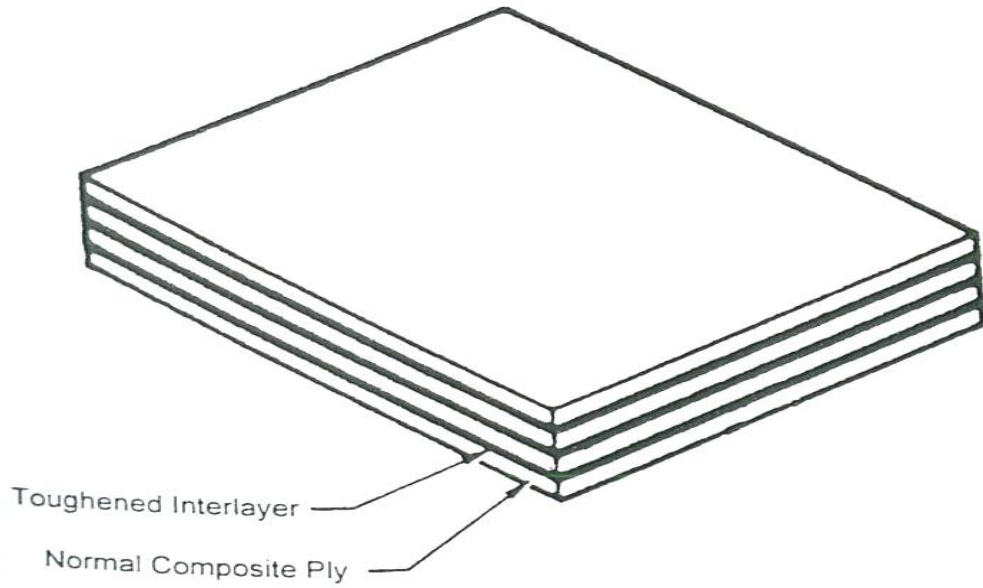


الشكل (2-15) نمو الشقوق البينية في طبقات المواد المركبة [60]

3- تمتين الثرموبلاستيك المرن (The Thermoplastic Elastomer Toughening): هي احد الطرق التجارية المتوفرة لتمتين انظمة المركبات الصلدة بالحرارة التي تستند على التمتين بالمواد اللدنة بالحرارة والتي يوجد باربع اشكال :

- أ- متجانسة (طور واحد) ب- جزيئي (دقائق المواد اللدنة بالحرارة يكون مستمر في الاساس الصلدة بالحرارة) ج- مشتركة (كلا المواد اللدنة بالحرارة و الصلدة بالحرارة تكون مستمرة)
- د- الطور المعكوس (المواد اللدنة بالحرارة تكون مستمرة و الصلدة بالحرارة تكون غير مستمرة) التي تعرض لذلك بنية مشتركة منتجة تحسين متانة بشكل كبير.

4- تصفيف بيني (Inter Layering): وتسمى المقاربة الميكانيكية او الهندسية التي تكون ممكنة من خلال المساهمة في ادخال طبقة رقيقة لراتنج متين ولين بين الطبقات الاخرى لزيادة مقاومة الصدم والحصول على افضل مقاومة صدم بينما تقل مقاومة الانضغاط مقارنة مع المادة الاساس الجسيئة كما في الشكل (2-16) [60].

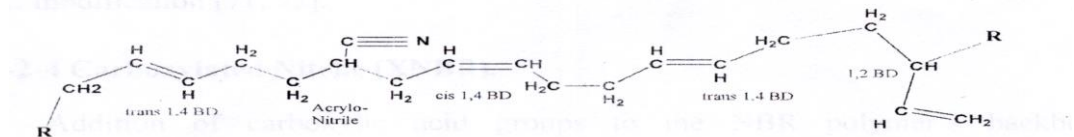


الشكل (2-16) التقوية ما بين الطبقات

ومن اهم المواد المستخدمة للتمتين في الدراسة الحالية هي:

2-8-1 مطاط (NBR)

هذا النوع الخاص من المطاط الذي يستخدم بصورة رئيسية واسعة نتيجة مقاومته للمذيبات والدهون والحرارة. حيث يصنع بعمليات البلمرة المستحلبة كما ان الاكريلونتريل يعطي طبيعة لدائنية للمطاط وكلما زادت كمية الاكريلونتريل يصبح المطاط المنتج اكثر جساءة (Stiff) واقل مطاطية (Rubbery)، وكذلك يعطي للمطاط مقاومة للحرارة والحوامض والزيوت (39% نسبة الاكريلونتريل في NBR في هذا البحث) [51، 52]، كما ان NBR له الكثير من الاستخدامات منها خراطيم الزيوت والوقود السائل وخراطيم الضغط والسدادات والاسطوانات والاطارات الخاصة [36]. والشكل (2-17) يوضح التركيب الكيميائي له:



Nitrile Rubber (NBR)

شكل (2-17) يوضح التركيب الكيميائي لمطاط (NBR) [40]

2-8-2 الالياف الزجاجية (Glass Fibers)

ان استخدامات الياف الزجاج كثيرة وواسعة نتيجة لما تتمتع به من مقاومة شد وصدمة عاليين و كلفة منخفضة ومقاومتها الكيميائية الجيدة، لذلك تستخدم في تطبيقات المواد المركبة التجارية. لكن خواصها اقل من خواص الياف الكربون التي تستخدم في تطبيقات المواد المركبة عالية الاداء، كما ان الياف الزجاج تملك معامل مرونة منخفض نسبياً وخواص كلال ضعيفة مقارنة مع الياف الكربون[60].

هنالك ثلاثة انواع من الياف الزجاج المستخدمة في المواد المركبة هي نوع (E-Glass) ونوع (S-Glass) ونوع (quarts) والجدول (2-2) يبين خواص هذه الانواع

جدول (2-2) يوضح بعض الخواص لأنواع من ألياف الزجاج [53]

Glass	Density (g/cm ³)	Tensile Strength (MPa)	Modulus (GPa)
S	2.49	4586	83-86
E	2.58	3450	72.5
A	2.50	3040	69

ان نوع (E-Glass) هو الاكثر شهرة والاقل كلفة ويعطي تركيب جيد للمقاومة ومعامل المرونة. ان الزجاج عبارة عن مادة غير بلورية (Amorphous) ذات اساس من السليكا ونسب مختلفة من مركبات الاكاسيد الاخرى لتعطي التركيب والخواص الخاصة به والجدول (2-3) يوضح تركيب الكيميائي للالياف الزجاجية

الجدول (2-3) يوضح التركيب الكيميائي لألياف الزجاج المختلفة [57]

	A Glass	E Glass	S-2 Glass
Oxide	%	%	%
SiO ₂	63-72	52-56	64-66
Al ₂ O ₃	0-6	12-16	24-25
B ₂ O ₃	0-6	5-10	
CaO	6-10	16-25	0-0.2
MgO	0-4	0-5	9.5-10
ZnO			
BaO			
Li ₂ O			
Na ₂ O+K ₂ O	14-16	0-2	0-0.2
TiO ₂	0-0.6	0-1.5	
ZrO ₂			
Fe ₂ O ₃	0-0.5	0-0.8	0-0.1

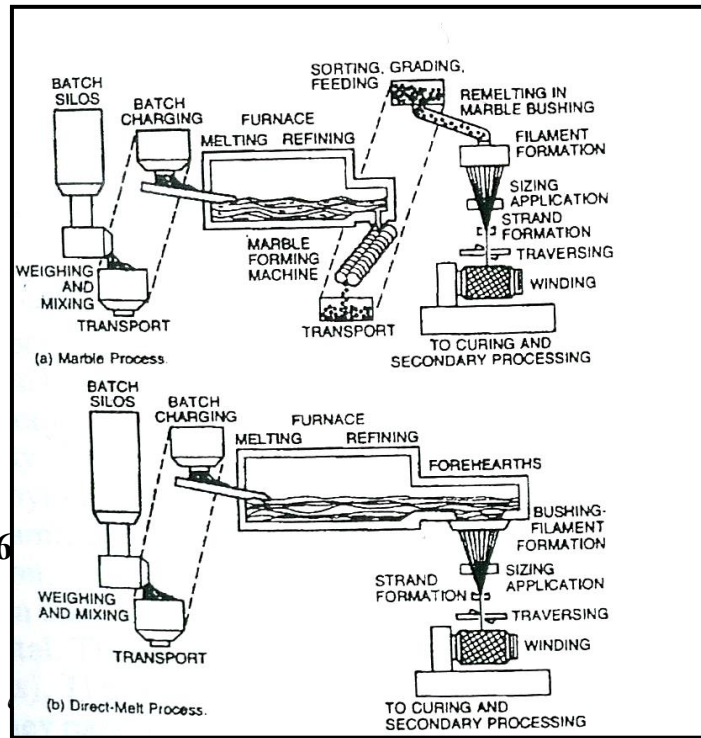
F ₂	0-0.4	0-1	
----------------	-------	-----	--

تصنع اليااف الزجاج من رمل السليكا والحجر الكلس (Lime Stone) وحامض البوريك (Boric acid) وكميات قليلة من المكونات الاخرى مثل الطين والفحم والفلسبار.

2-8-2-1 تصنيع الاليف الزجاجية

(Manufacturing Glass Fibers)

في عملية تصنيع الزجاج تخطط المكونات بشكل جاف ثم تصهر في درجة حرارة عالية في افران حرارية كما في الشكل (2-18)، حيث تستخدم طريقتين لصنع اليااف الزجاج عالية المقاومة، ففي طريقة الخام (marble) تشكل مكونات الزجاج داخل الرخامات وتصنف بشكل كميات ثم يعاد صهرها بشكل ضفائر اليااف، وبشكل متعاقب، وبشكل مباشر ينتج الاليف من منصهر الزجاج، وبعد التسخين الى (2300 F) تقريبا يجري دفع منصهر الزجاج خلال ثقوب صغيرة وبسرعة تقارب (180ft/s) لعمل الشعيرات ثم تخمد في الماء وبشكل سريع او عن طريق الرش بالهواء للحصول على التركيب العشوائي، ويسيطر على القطر بواسطة حجم الثقب وسرعة السحب ودرجة الحرارة ولزوجة المنصهر ومعدل التبريد. تكون الاليف الملفوفة (Roving) هي المفضلة في تقوية المواد المركبة من الغزل المبروم (twist yarn). [60]



لقابلية المادة المركبة

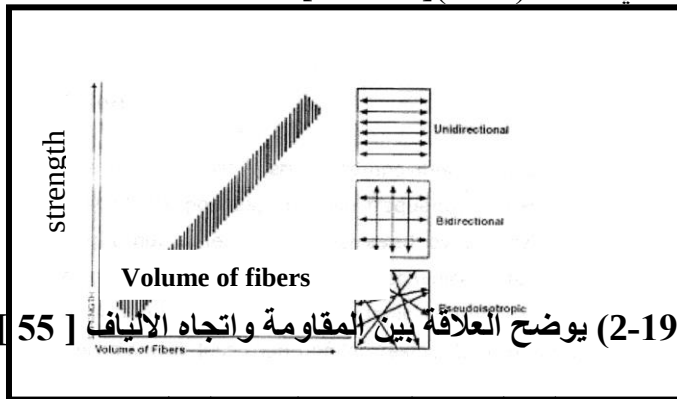
للألياف تأ

لتحمل الاحمال الخارجية. وتكون اليااف التقوية اما طويلة مستمرة (Continuous) او قصيرة غير مستمرة (Discontinuous) وفي الحالة الاولى تكون موحدة الاتجاه (Unidirectional) وذات اتجاهين (Bidirectional)، بينما الاليف القصيرة تكون اما موجهة بشكل عشوائي (Randomly) او تكون مرتبة باتجاه معين (Preferred Orientation) [46]. والجدول (2-4) يوضح تأثير الاليف العشوائية القصيرة على خواص بعض اللدائن.

جدول (2-4) بعض الخواص البوليمرات المقواة بألياف زجاج غير مستمرة [57]

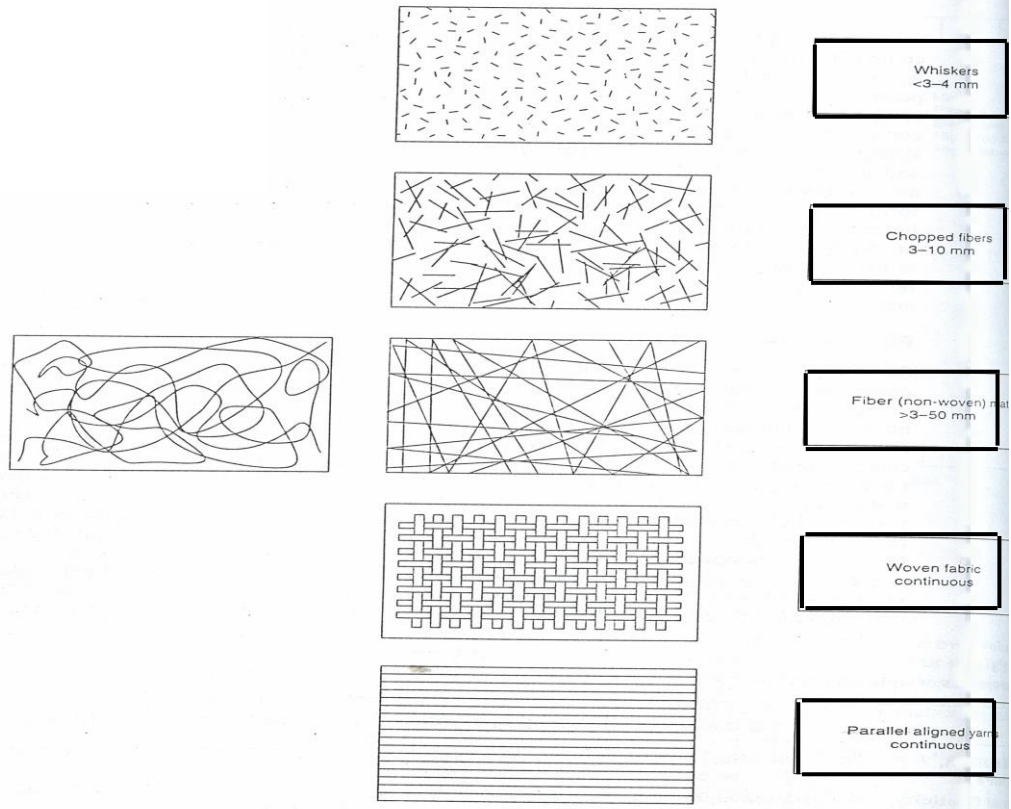
Material	Glass Content (vol%)	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (MPa)	Specific Gravity
Nylon 66	20	152	8280	1.31
	40	200	11040	1.41
	70	207	21390	-
Polycarbonate	20	107	6210	1.31
	40	131	10350	1.44
Polystyrene	30	97	8280	1.28
Polyester	35-45	104-173	5520-12420	1.5- 1.6
Epoxy	60	173	20700	1.8

ان هذه الاليف قد تكون اما قصيرة او مستمرة وكثيرا ما تكون متباينة في الخواص (Anisotropy) أي بمعنى اخر لا تمتلك خواص ميكانيكية متشابهة في جميع الاتجاهات، فهي تملك مقاومة اعلى على طول محورها الرئيسي كما في الشكل (2-19) [7،3،26]:



الشكل (2-19) يوضح العلاقة بين المقاومة واتجاه الاليف [55]

كما ان الشكل (2-20) يبين انواع المختلفة من التقوية بالاليف والشكل (2-21) يبين تطبيقات الاليف الزجاجية.



الشكل (2-20) يبين المقارنة بين اشكال التقوية بالالياف المختلفة [61]



الشكل (2-21) يبين تطبيقات الالياف الزجاجية [62]

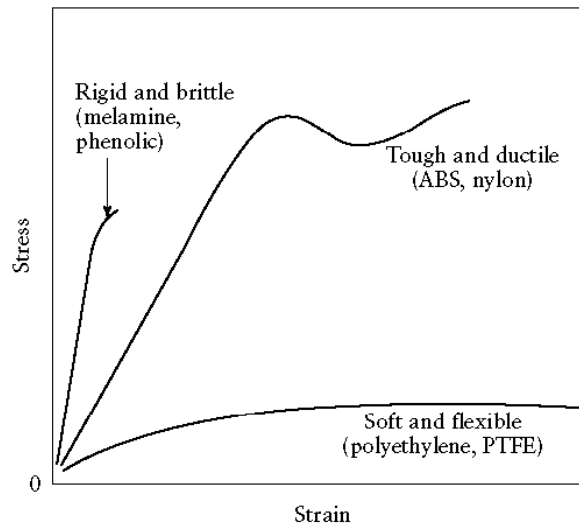
2-9 الخواص الميكانيكية (Mechanical Properties)

تعتمد الاستخدامات العامة والهندسية للبوليمرات الى حد كبير على صفاتها الميكانيكية الجيدة وخاصة قوتها العالية وقابليتها للتشوه بتأثير القوى المختلفة. وتنشأ هذه الازدواجية في صفات البوليمر من طبيعة تركيبه، إذ ان وجود نوعين من القوى وهي الاواصر الكيميائية القوية والروابط الثانوية بين الجزيئات هي التي تؤثر بصورة او باخرى على صفاتها الميكانيكية [38].

ان الخواص الميكانيكية للبوليمرات تعتمد اعتماداً كبيراً على درجة الحرارة وزمن التحميل، ويعود هذا الاعتماد الى طبيعة البوليمر اللزجة المرنة (Viscoelastic)، فالبوليمرات تتصف بصفات السائل اللزج (Viscous Behaviour) التي عند فرض اجهاد عليها يتلاشى على هيئة حرارة، وعند رفع الاجهاد عنها تبقى في الحالة المشوهة (Deformed Form) غير قادرة على استعادة مواصفاتها الاولية. وفي الوقت نفسه فان البوليمرات تمتاز بصفات المرونة أي عند فرض أي اجهاد ما عليها فانها تخزن الشغل المصروف عليها على هيئة طاقة مخزونة، وحال زوال الاجهاد فان المادة تسترجع ابعادها الاولية. وهناك عوامل خارجية تؤثر تأثيراً بليغاً على خواص البوليمر الميكانيكية، ومن اهم هذه العوامل هي درجة الحرارة، زمن الاجهاد، وسرعة الاجهاد، ونوع التشوه.... الخ. لذا فان دراسة الخواص الميكانيكية للبوليمرات تعد معقدة جداً وذلك لتعدد المتغيرات المؤثرة على الخاصية الواحدة [10،38]. وتمتاز البوليمرات بكون خواصها متماثلة اتجاهياً (Isotropic) على المستوى العياني (Macroscopic) والدقيق (Microscopic)، فعلى سبيل المثال فان الخواص الميكانيكية للمواد المركبة المدعمة باللياف مستمرة تعتمد على اتجاه الاليف لوحدة الحجم وعلى خواص الاليف نفسها [5]. ومن الخواص الميكانيكية التي تهتمنا في هذا البحث الاجهاد والانفعال، وخاصية مقاومة الشد، ومقاومة الصدمة، ومقاومة الانحناء، ومقاومة الانضغاط، والصلادة.

2-9-1 الاجهاد والانفعال (Stress and Strain)

يعد التغير الحاصل في ابعاد الجسم بوصفه دالة للاجهاد من الخصائص الميكانيكية المهمة، فعند تسليط اجهاد على نموذج من البوليمر بسرعة ثابتة فان التشوه (Deformation) الحاصل في النموذج يقاس اما بدلالة التغير في الطول او التغير في المساحة. ويمكن الاستفادة من منحنى الاجهاد-الانفعال الموضح في الشكل (2-22) في الحصول على معلومات مفيدة جداً عن سلوك النموذج من حيث قوته ومتانته واقصى اجهاد يتحمله واقصى استطالة قد تحدث فيه فضلاً عن الكثير من المعلومات الهندسية الاخرى [63].



شكل (2-22) منحنى الإجهاد-الانفعال في البوليمرات [44]

لقد تم تعريف الإجهاد في المعادلة (2-4)، أما الانفعال فهو يمثل النسبة بين التغير في الطول (الاستطالة) إلى الطول الأصلي للنموذج:

$$\epsilon = (L - L_0) / L_0 = \Delta L / L_0 \quad (2-27)$$

إذ أن

L_0 : الطول الأصلي للنموذج.

L : الطول النهائي .

ΔL : الاستطالة الحاصلة في النموذج .

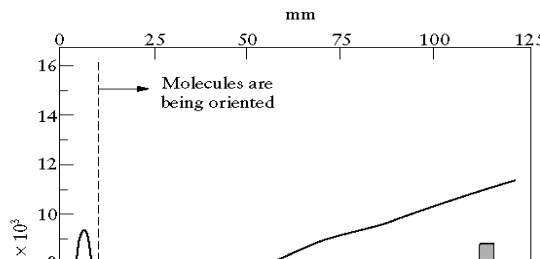
إن الجزء الأول من المنحنى الموضح بالشكل (2-22) هو عبارة عن خط مستقيم وهو يعبر عن المرونة (Elastic Behaviour) التي تنسم بها البوليمرات بشكل عام، لذا فإن ميل هذا الجزء من المنحنى يمثل معامل المرونة (Elastic Modulus)، فضمن هذه الحدود وعند إزالة الإجهاد عن النموذج يسترجع البوليمر أبعاده الأصلية وذلك لأن الطاقة المصروفة عليه تكون مخزونة بشكل طاقة مرونة (Elastic Energy). ويتجاوز هذا الجزء فأما أن ينكسر (Fracture) النموذج إذا كان هشاً (Brittle)، أو يخضع عند نقطة تدعى بنقطة الخضوع (Yield Point) التي تمثل نهاية السلوك المرن. وبعد هذه النقطة يحدث تشوهاً لدناً وذلك لأن الطاقة المصروفة تستهلك في فك الاشتباك الفيزيائي بين سلاسل البوليمر، وقد تؤدي إلى كسر بعض الأواصر الرئيسية في البوليمر وتحدث استطالة في النموذج. بعد هذه المرحلة يلاحظ زيادة الإجهاد تدريجياً بسبب ترتب سلاسل البوليمر باتجاه محور السحب، وبذلك تزداد قوة النموذج [36,38].

أن منحنى الإجهاد – الانفعال يعتمد على عوامل عدة منها ما يتعلق بظروف إجراء الفحص مثل درجة الحرارة وسرعة الشد أو سرعة الفحص... الخ، إذ أن عند ارتفاع درجة الحرارة يتغير منحنى الإجهاد باتجاه السلوك المطاطي ويانخفض درجة الحرارة يتغير منحنى باتجاه السلوك الهش. أما سرعة السحب أو الشد فتؤثر تأثيراً كبيراً على قوة الشد والاستطالة إذ أن عند زيادة سرعة السحب فإن مقاومة الشد (Tensile Strength) سوف تزداد والاستطالة تقل إلى درجة قد تؤدي إلى التمزق الهش (Brittle Fracture)، ويعود سبب ذلك إلى أنه عند السرعة العالية للشد لا يفسح الوقت الكافي لجزيئات أو سلاسل البوليمر للتخلص من الطاقة المصروفة عليها كإجهاد مما يؤدي إلى رفع درجة الحرارة عند نقطة معينة، ومن ثم حدوث تمزق مفاجئ أو هش عند هذه النقطة، ولكن عند سرعة الشد البطيئة يكون هنالك وقت كافٍ لسلاسل البوليمر إن تستنفذ الطاقة المصروفة على هيئة حرارة تنتشر على مساحة أكبر من النموذج وبذلك يؤدي إلى انخفاض قوة الشد وزيادة الاستطالة. ومن العوامل الأخرى التي تؤثر على منحنى الإجهاد – الانفعال هي فيما يتعلق بتركيب البوليمر مثل الوزن الجزيئي ودرجة التشابك (Cross Linking) ... الخ، إذ أن عند زيادة الوزن الجزيئي للبوليمر فإن قوة الشد تزداد غير أن هذه الزيادة تبلغ نهاية عظمى بعدها يكون لزيادة الوزن الجزيئي تأثير طفيف على قوة الشد. أما درجة التشابه فتؤثر تأثيراً واضحاً على منحنى الإجهاد – الانفعال إذ أن عند زيادة درجة التشابك فإن قوة الشد سوف تزداد والاستطالة تقل والعكس صحيح [42]. والشكل (2-23) يوضح مخطط إجهاد انفعال للبوليمرات اللدنة بالحرارة، وهناك نوع آخر من الإجهاد هو الإجهاد القصي (Shear Stress) إذ يمكن إيجاد معامل آخر منه هو معامل الجساءة الذي يعرف على أنه النسبة بين إجهاد القص (τ) إلى انفعال القص (γ) [38,64].

$$G = \tau / \gamma \quad (2-28)$$

إذ أن

G : معامل الجساءة.



الشكل (2-23) يوضح مخطط اجهاد انفصال البوليمرات اللدنة بالحرارة [64].

2-9-2 مقاومة الصدمة (Impact Strength)

تعد فحوصات قوة التصادم مقياساً لقوة المادة البوليمرية ومقاومتها للانكسار تحت تأثير الاجهاد عند السرعة العالية [39]. ان مقاومة المادة تتغير بشكل كبير من جراء طريقة التشوه إذ ان المادة التي تبدو قوية ومطيلية تحت الحمل الساكن ربما تظهر ضعيفة وهشة تحت تأثير اجهادات الصدم، وبذلك تكون مقاومة الصدمة للمواد البوليمرية المطيلية اعلى من مقاومة الصدمة للبوليمرات الهشة، اما بالنسبة للبوليمرات المطاطية فان قوة الصدم لها عالية جداً لان البوليمرات المطاطية تكون درجة انتقالها الزجاجي (Tg) تقع تحت درجة حرارة الغرفة وبشكل كبير [65].

ان هذه الفحوصات تكون مهمة جداً من الناحية العملية، إذ يمكن من خلالها حساب الطاقة اللازمة لكسر النموذج (Fracture Energy) تحت ظروف قياسية من درجة حرارة ورطوبة وضغط وغيرها [38] فالكسر (Fracture) هو مصطلح يشير الى عملية انفصال (Separation) او تجزئة جسم صلب على قسمين او اكثر تحت تأثير اجهاد يفوق حمله، وهناك عوامل عدة تؤدي الى الكسر منها طبيعة المادة وطبيعة الاجهاد وظروف الاختبار وعوامل اخرى [39] ويمكن تصنيف الكسر على نوعين هما:

1- الكسر الهش (Brittle Fracture)

يعد هذا النوع من الكسر من اخطر انواع الكسر لانه يحدث بسرعة من دون ان يسبقه تشوه لدن مرئي وهو يعتمد على درجة الانتقال الزجاجي (Tg) ومستوى التحميل وحالة الاجهاد الموضعي وخواص المادة [5].

2- الكسر المطيلي (Ductile Fracture)

هو اقل سرعة وخطورة من النوع الاول حيث يسبقه تشوه لدن كبير في المنطقة المحيطة بحافة الكسر الحقيقية وهذا يؤدي الى التنبه بحدوث كسر في المادة ويتميز الكسر المطيلي بان سطح الكسر يكون خشناً بافراط مشيراً الى حدوث مقدار كبير من الشغل اللدن (Plastic Work) في حدوثه [10] ان قياس قوة الصدم للبوليمرات ومركباتها تعد من الفحوصات المعقدة جداً لاسباب منها:

- 1- تعدد فحوصات قوة الصدم.
 - 2- اختلاف الاساس الذي تعتمد عليه قوة الصدم.
 - 3- اختلاف اشكال وابعاد النماذج المستخدمة في الفحص.
 - 4- اختلاف الجهد المستخدم في الفحوصات المختلفة.
 - 5- اختلاف سرعة الجهد المفروض على النموذج تحت الفحص.
- توجد انواع عدة من الفحوصات المستخدمة في قياس قوة الصدم للمواد البوليمرية ولكن اكثر الطرق اهمية هي [36,39]:

- 1- فحوصات الاجسام الساقطة (Falling Weight Test)
- 2- فحوصات تصادم ايزود (Izod Impact Test)

3- فحوصات تصادم جاريبي (Charpy Impact Test)
إذ يمكن قياس مقاومة الصدمة من خلال المعادلة الآتية:

$$\text{Impact Strength (I.S.)} = \text{Fracture Energy (J)} / \text{Area (m}^2\text{)}$$

هناك العديد من العوامل المؤثرة في قوة الصدم للبولىمر ومركباته منها [10، 66]:

- 1- تأثير تركيز الاجهادات.
- 2- تأثير درجة الحرارة.
- 3- توجيه السلسلة البوليمرية.
- 4- وجود مواد التقوية والمضافة المستخدمة في التدعيم.
- 5- الوزن الجزيئي.

2-9-3 مقاومة الانضغاط (Compression Strength)

تعرف مقاومة الانضغاط على انها اقصى اجهاد تتحمله المادة تحت الضغط العمودي [66].
يعد هذا الفحص من الفحوصات التي تعطي مدى تحمل البولىمر لظروف الاستخدام، وهناك العديد من المواد التي تبدو هشة في حالة الشد ولكنها تبدو مطيلية (Ductile) في حالة الانضغاط [10]، ان فحص الانضغاط يستخدم من اجل تحديد مقاومة الخضوع (Yield Strength) فضلاً عن مقاومة الانضغاط (σ_{com}) حيث تحسب مقاومة الانضغاط من العلاقة:

$$\sigma = F / A \quad (2-29)$$

إذ ان

σ : الاجهاد (N/m^2)

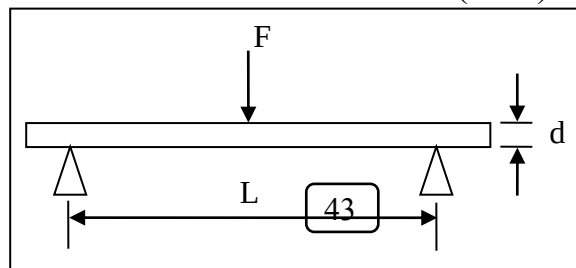
F: القوة المسلطة (N)

A: مساحة مقطع العينة (m^2)

2-9-4 مقاومة الانحناء (Flexural Strength):

تمثل الليونة (Flexibility) إحدى أهم الخواص التي تتمتع بها البوليمرات عن غيرها سواء أكانت مطاوعة أم متصلدة حرارياً، وان التغير في قيمة مقاومة الانحناء يمثل احد أهم دلائل مقاومة المادة البوليمرية للأحمال الخارجية [67].

إن العديد من الهياكل المصنوعة من مواد مركبة تتعرض إلى تشوهات الانحناء، لذا فإنها يجب أن تقاوم الاجهادات المركبة المسلطة عليها والمتمثلة باجهادات الشد، الضغط واجهادات القص. ويمكن معرفة مميزات المادة المركبة تحت هذه الظروف وذلك بتعريض دعامة (Beam) قصيرة مقواة تقوية أحادية الاتجاه (Unidirectional Reinforcement) إلى انحناء ثلاثي النقاط (Three Points Bending) كما موضح بالشكل (2-24).



شكل (2-24) دعامة معرضة لانحناء ثلاثي النقاط [10،3]

وبإهمال أية تأثيرات ناتجة عن تركز الاحمال، فإن أعظم إجهاد شد وضغط (σ) يمكن إيجاده باستخدام المعادلة الآتية :

$$\sigma = 3PS/2ba^2 \quad (2-30)$$

إذ أن

P : الحمل المسلط (N).

S : البعد بين نقطتي التحميل (Span)(m).

b : عرض الدعامة (m).

a : سمك الدعامة (m).

كذلك يمكن إيجاد أقصى إجهاد قص (τ) على الدعامة عند المحور الطبيعي وذلك باستخدام المعادلة :

$$\tau = 3P/4ba \quad (2-31)$$

كما يمكن حساب معامل المرونة (E) من العلاقة الآتية:

$$E = (\text{Mass/Deflection})(gL^3/48I) \quad (2-32)$$

إذ أن:

Mass/Deflection: يمثل الميل (Slope) المحسوب من منحنى Mass- Deflection.

g: التعجيل الأرضي ($9.8m/s^2$)

L: طول العينة (m).

I: يمثل عزم الانحناء الهندسي الذي يعطى بالمعادلة الآتية [10]:

$$I = bd^2/12 \quad (2-33)$$

إذ أن:

b: عرض النموذج (m).

d: سمك النموذج (m).

وهناك نوع ثاني من الفحوصات لقياس متانة الانحناء هي طريقة الاختيار الرباعي النقاط ولكن يعد النوع الاول هو الأكثر شيوعاً بسبب سهولة استخدامه وبساطته في حساب متانة الانحناء. كما تتأثر قيم متانة الانحناء عوامل عدة منها درجة الحرارة والرطوبة ومعدل الانفعال.

2-9-5 الصلادة (Hardness)

وهي واحدة من الخواص الميكانيكية لسطح المادة وتعرف الصلادة بانها مقاومة السطح للاختراق (Penetration) أي المقاومة لخدش سطح المادة (Surface Indentation) [36] كما هو الحال في الاختبارات الميكانيكية الأخرى تتأثر الصلادة بدرجة الحرارة، والزمن وبقيّة الظروف وكذلك بنوع السطح الذي تتعامل معه مدى نعومته.

تعتمد الصلادة بالدرجة الأساس على القوى التي تربط الذرات والجزيئات في المادة أي كلما كان الربط أقوى والذرات مترابطة معاً ازدادت قيمة الصلادة [68].

توجد اربع طرق لقياس الصلادة اعتمادا على الاسلوب الذي يجري القياس به وكما يأتي[69]:

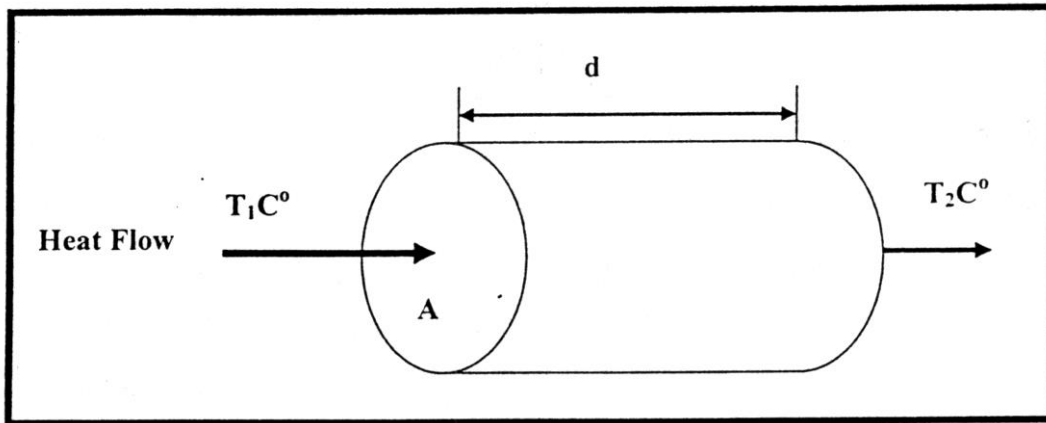
- 1- صلادة فكرز (Vickers Hardness)
- 2- صلادة روكويل (Rockwell Hardness)
- 3- صلادة مقياس التحمل (Durometer Hardness)
- 4- صلادة برينل (Brinell Hardness)

2-10 الخواص الحرارية (Thermal Properties)

2-10-1 التوصيلية الحرارية (Thermal Conductivity)

التوصيلية الحرارية هي ظاهرة من ظواهر الانتقال الحراري وفيه يتم نقل الطاقة من موقع الى اخر بسبب تهيج الجزيئات مصحوباً بتغير في درجة الحرارة، تحدث التوصيلية الحرارية كلما اختلفت درجة حرارة المادة من موقع الى اخر (يحدث بالاتجاه الذي تتناقص فيه درجة الحرارة)، وتختلف ميكانيكية التوصيلية الحرارية في المواد الصلبة عنها في السائلة وعنها في الغازات، وكذلك تختلف في المواد الموصلة للحرارة عنها في المواد العازلة[70]، ففي المواد الموصلة (الفلزات) تكون الالكترونات هي المسؤولة عن انتقال الطاقة الحرارية، اما في المواد العازلة (البوليمرات) فان الحرارة تنتقل نتيجة تذبذب الجزيئات التي تنقل هذه الذبذبة الى جزيئات مجاورة لها نتيجة ارتباطها بالواصر وبذلك تنتقل الذبذبة من الطرف الاعلى حرارة الى الطرف الاقل حرارة بشكل موجات مرنة مكممة الفوتونات[10]، والطرائق الثلاث لانتقال الحرارة من الموضع الساخن الى الموضع البارد تتم بحيث ان انتقال الحرارة بطريقتي التوصيل والحمل هو أبطىء من طريقة انتقال الحرارة بالاشعاع وذلك لان سرعة الاشعاع هي بسرعة الضوء[10،42].

فلنفرض ان لدينا شريحة متوازية الوجهين من مادة ما، وان سمك هذه الشريحة هو (d) ومساحة احد الوجهين هو (A)، وان درجة حرارة الوجه الساخن (T_1)، اكبر من حرارة الوجه الاخر (T_2)، وان هذه الدرجات ثابتة لا تتغير كما موضح في الشكل (25-2).



الشكل (25-2) يوضح كيفية انتقال الحرارة من الوجه الساخن الى الوجه البارد عموديا على الوجهين [10]

وفي هذه الحالة تنتقل الحرارة بمعدل ثابت من الوجه الساخن الى الوجه البارد عموديا على الوجهين وان كمية الحرارة (Q) التي تنتقل في زمن معين (t) تتناسب طرديا مع الزمن (t) والمساحة (A) وفرق درجات الحرارة ($T_1 - T_2$) وعكسيا مع السمك (d) [31].

$$Q = \frac{KA \cdot (T_1 - T_2) \cdot t}{d} \quad (2-34)$$

إذ ان (K) ثابت يختلف باختلاف المادة ويسمى بالتوصيلية الحرارية ،او معامل التوصيل الحراري ويمكن تعريفه بالشكل الآتي هو كمية الحرارة التي تنتقل بالتوصيل في الثانية الواحدة من (1m²) من احد وجهي شريحة متوازية سمكها (1m) والفرق في درجة الحرارة بين وجهيها (1C⁰) في الحالة الثابتة ،وحدات (K) هي (W/m.c⁰) وتسمى الكمية (T₁-T₂) بالانحدار الحراري (Temperature Gradient).

وبصورة عامة تختلف طرائق قياس التوصيلية الحرارية تبعا لنوع المادة كما يأتي:

- 1- تقاس التوصيلية الحرارية لمادة جيدة التوصيل الحراري مثل d س باستخدام طريقة سيرل (Searle s Method) ،وتكون المادة على شكل قضبان.
 - 2- تقاس التوصيلية الحرارية لمادة رديئة التوصيل الحراري مثل المواد اللدائنية باستخدام قرص لي (Lee s Disk Method) والمبين في الشكل (2-26).
- اذ يتم حساب (K) من المعادلة الآتية:

$$K\left(\frac{T_B - T_A}{d_s}\right) = e \left[T_A + \frac{2}{r} (d_A + \frac{1}{4} d_s) T_A + \frac{1}{2r} d_s T_B \right] \quad (2-35)$$

إذ ان e : تمثل كمية الطاقة الحرارية
من العلاقة الآتية:

$$IV = \pi r^2 e (T_A + T_B) + 2\pi r e \left[d_A T_A + d_s \frac{1}{2} (T_A + T_B) + d_B T_B + d_C T_C \right] \quad (2-36)$$

إذ ان

(T_A , T_B , T_C) : هي درجة حرارة القرص (A,B,C) على التوالي.

d : سمك القرص (mm)

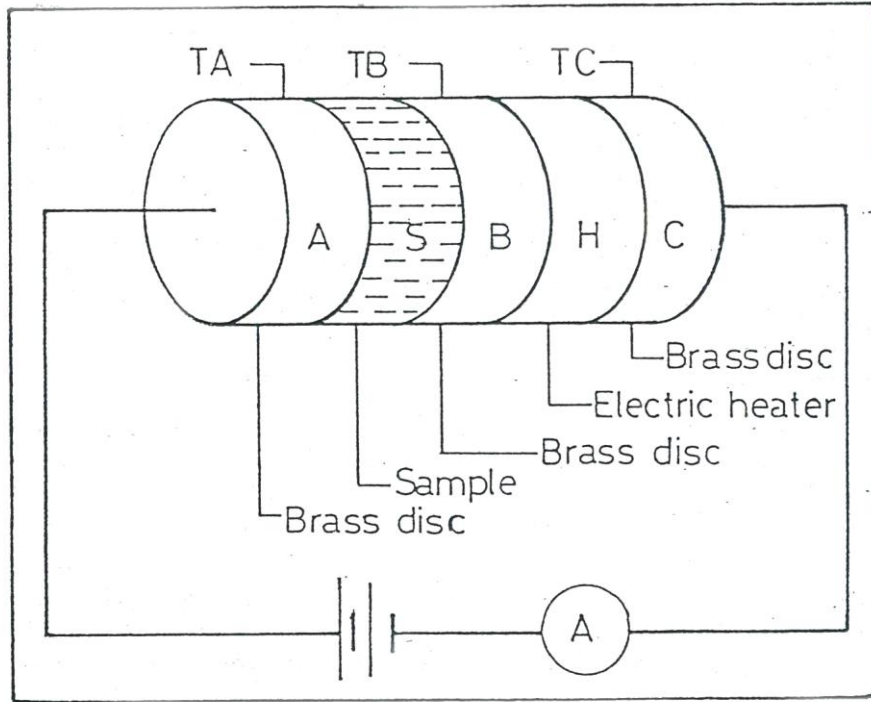
d_s : سمك النموذج (mm)

r : نصف قطر النموذج (mm)

I : التيار المار (Ampere)

V : الفولتية المجهزة (Volt)

حيث ان قيمة التيار المستخدم تساوي (0.25) امبير ،ومقدار الفولتية المستخدمة (6) فولت.



الشكل (2-26) يمثل قرص لي المستخدم في حساب الموصلية الحرارية

Chapter Tree

Practical part

الجزء العملي

1-3 المقدمة (Introduction)

تم خلال هذا الفصل تحضير المواد الاساس اللازمة لتحضير العينات في هذا البحث والمواصفات الخاصة بها، ومن ثم التعرف على طريقة تحضير العينات، وعلى القوالب التي تم تصنيعها لغرض استخدامها لتشكيل العينات المطلوبة، وعلى الأشكال الهندسية، والأبعاد القياسية. كذلك تم التعرف على الاختبارات التي ستجرى على العينات والمتمثلة باختبار الشد والصدمة الانضغاط والانحناء وغيرها من الخواص. وعلى الأجهزة المستخدمة والأساليب التقنية المتبعة لإجراء تلك الاختبارات.

2-3 المواد المستخدمة (Used Material)

إن المواد المستخدمة لعمل العينات المطلوبة في هذا البحث هي :

1-2-3 المادة الاساس (Matrix Material)

تم استخدام مادة البولي اثلين العالي الكثافة (HDPE) بوصفه مادة اساس في هذا البحث فهو يمثل احد انواع البوليمرات اللدنة بالحرارة (Thermoplastic) الذي يستخدم بشكل واسع في التطبيقات المختلفة، كما هو معروف يتم انتاج هذه المادة باستخدام العوامل المساعدة وبسبب سهولة تصنيع هذه المادة ورخص تكاليف انتاجها تعد من اهم المواد البلاستيكية الواسعة الانتشار في العالم حيث بلغ انتاجها في امريكا لوحدها في عام (2005) مئة وخمس وعشرون مليون طن نتيجة دخولها في تطبيقات مختلفة، وفي مجالات عديدة، كذلك سهولة اعادة تصنيعها (Recycling)، و انتاجها باضافة مواد اخرى لتعويض خواصها المفقودة اثناء عملية اعادة التصنيع [37].

ان البولي اثلين العالي الكثافة (نسبة تبلور مقاربة الى 70%) منتج من الشركة العامة للصناعات البتروكيماوية في مدينة البصرة، وهو عبارة عن مسحوق (Powder) ناعم ابيض اللون نوع (M624)، حيث يتصف هذا البوليمر بخواص جيدة وله معامل جريان المنصهر (MFI) = 6gm/10min، ولكنه بسبب نسبة التبلور العالية تكون بعض خواصه رديئة نوعا ما مثل الهشاشة.

2-2-3 المواد المضافة (Additive materials)

تم اضافة مطاط (NBR) وهو من نوع المطاط الصناعي المستخدم في تطبيقات كثيرة منها خراطيم الوقود والتعبئة الذي يمتاز بخواص فيزيائية وميكانيكية جيدة، ويذوب بصورة جيدة في المذيبات مثل التلوين والهيبتان والمجهز من الشركة العامة لصناعة الاطارات - اطارات بابل.

3-2-3 مواد التقوية (الياف الزجاج) (Reinforced Materials)

تم استخدام ألياف زجاج نوع (E-glass) وبشكل ظفائر محاكة ($0 - 90^\circ$) (Woven Roving) وتم تأمينه من الأسواق المحلية وهي مجهزة من شركة (Binani) . والجدول (3-1) يوضح صفات ألياف الزجاج المستخدمة بحسب مواصفات الشركة المجهزة .

جدول (3-1) يوضح صفات الياف الزجاج (E-glass) المجهزة من شركة (Binani) وموقعها الالكتروني (<http://www.binani.com>) .

Characteristics	Limits	Nominal Values
Standard Weight	$\pm 10\%$	610 g/m ²
Rovings Linear Weight (Tex)	$\pm 10\%$	1200 g/m
Standard Widths (mm)	$\pm 25, - 0$	1500 / 1250
Standard Lengths (meters)	± 5	60

ثم تم تقطيع الاليف يدويا وبحسب الطول المطلوب [61] كما في الشكل (3-1).



الشكل (3-1) الاليف الزجاجية المستخدمة

3-3 تحضير القوالب المستخدمة

(Used Mould Preparation)

في هذه الفقرة سيتم توضيح طرق تصنيع القوالب المستخدمة في هذا البحث وهي:

1 - قالب تصنيع عينات الشد والانحناء: تم استخدام عينات قياسية لاختبار الشد وحسب الجمعية الامريكية للقياسات والمواد (ASTM) وكذلك عينات قياسية لاختبار الانحناء، ومن خلال اتباع المواصفات تم تصنيع قالب معدني يتكون من صفيحة معدنية مستوية الابعاد (20cm*13cm) تكون بوصفها قاعدة ثم يثبت عليها قطعتين ذي تجويف معين بحيث يكونان شكل النموذج المراد الحصول عليه وتكون احدى القطعتين ثابتة بواسطة اللحام والاخرى متحركة حيث يثبت المقطع المتحرك بالبراغي من اجل تسهيل استخراج النماذج من القالب بعد عملية التشكيل بالكبس (مع

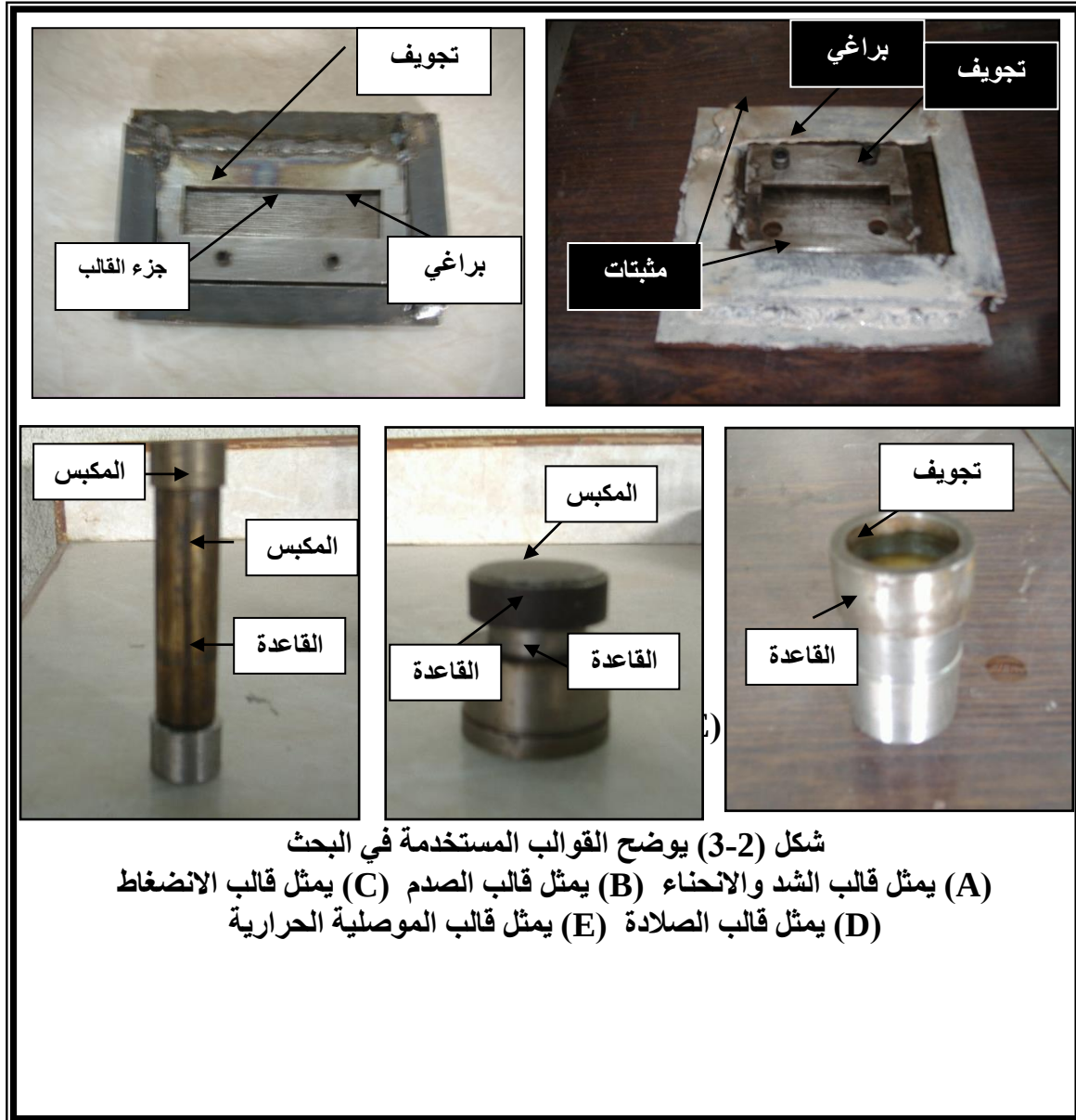
حرارة) كذلك يؤخذ بنظر الاعتبار سمك تجويف القالب وحسب السمك المراد الحصول عليه ويتم أيضا عمل مكبس له شكل تجويف القالب (Punch)، لكي يضغط على النموذج مع الحرارة لكي تتشكل النماذج ويكون سمكه أكبر من سمك تجويف القالب لكي نستطيع ضغطه أثناء التشكيل. و الشكل (3-2A) يوضح قالب عينات الشد والانحناء.

2- قالب تصنيع عينات الصدمة: تم استخدام عينة الصدم القياسية وحسب (ASTM D4812) لانتاج عينات فحص الصدم للمواد المركبة البوليمرية، إذ تم تصنيع قالب معدني يتكون من صفيحة معدنية مستوية بأبعاد (15cm*15cm) ثم تثبت عليها قطعتين معدنيتين بحيث عند ربطهما مع بعضهما يشكلان شكل عينة الصدمة كما تكون إحدى القطعتين ثابتة والآخرى متحركة وتثبت عن طريق البراغي أثناء عملية الكبس الغرض منها تسهيل استخراج النماذج بعد عملية التشكيل والشكل (3-2B) يوضح قالب عينات الصدم للمواد المركبة.

3- قالب تصنيع عينات الانضغاط: تم استخدام عينة الانضغاط القياسية وحسب (ASTM D695)، لانتاج نماذج اختبار الانضغاط تم تصنيع قالب معدني اسطواني الشكل له تجويف يمثل قطر عينة الانضغاط ويحتوي على قاعدة ومكبس بقطر تجويف القالب نفسه لكبس النماذج داخل القالب حيث تستخرج النماذج بعد تبريد القالب والشكل (3-2C) يوضح قالب عينات الانضغاط للمواد المركبة.

4- قالب تصنيع عينات الصلادة: تم استخدام عينة الصلادة القياسية وحسب (ASTM 2240)، التي تتطلب عينات ذا سمك أكبر من (6.4mm) لغرض فحصها، لانتاج نماذج اختبار الصلادة تم تصنيع قالب معدني اسطواني الشكل له تجويف يمثل قطر العينة و بمواصفات قالب عينات الانضغاط نفسها والشكل (3-2D) يوضح قالب عينات الصلادة.

5- قالب تصنيع عينات الموصلية الحرارية: تم استخدام عينة الموصلية الحرارية التي تلائم جهاز قرص لي (Lee disk) لفحص الموصلية الحرارية، لانتاج نماذج اختبار الموصلية الحرارية تم تصنيع قالب معدني اسطواني الشكل له تجويف يمثل قطر العينة و بمواصفات قالب عينات الانضغاط والصلادة نفسها والشكل (3-2E) يوضح قالب عينات الموصلية الحرارية.



3-4 تحضير العينات (Specimens preparation)

تم استخدام عملية خلط ميكانيكي في تحضير العينات، حيث استخدم خلاط خاص (Mixer) الموجود في معمل اطارات بابل لعمل الخلائط، كما يأتي :

1- تم اذابة المطاط الصناعي NBR باستخدام مذيبي جيد (هبتان) لتسهيل عملية الخلط التي تجري في درجة حرارة الغرفة (علما ان رفع درجة حرارة الخلط تؤدي الى تليين الخليط ومن ثم تمنع عملية الخلط)

2- يضاف المطاط بنسب وزنية مختلفة (5%-30%) باستخدام ميزان حساس نوع (satocius) موديل (L 220 S D) رقم (39090002) ذو دقة أربعة أصفار بعد الفارزة . تحسب كمية المذيب الداخلة في المطاط من خلال تجفيف المطاط في الفرن وحساب الفرق في الوزن كما في المعادلات الآتية:

$$\Delta(W) = \text{Weight of Rubber with solvent} - \text{Weight of dry Rubber.. (3-1)}$$

$$\text{The percentage weight of Rubber addition(\%)} = \frac{\text{Weight of Rubber with solvent} - (\Delta W)}{\dots} \text{ (3-2)}$$

وهذا الفرق يضاف الى نسبة المطاط المذاب المضاف الى المادة الاساس لتعويض عن وزن المذيب المتطاير اثناء عملية التشكيل كما في المعادلة:

ويمكن تلخيص تحضير وصب العينات بالخطوات التالية:

1- في البداية يتم تنظيف قالب باستخدام مذيب جيد ومسحه بشكل جيد ،كما يتم طلاء سطح القالب الداخلي بمادة دهنية لمنع التلاصق ولتسهيل اخراج النماذج بعد كل عملية كبس.

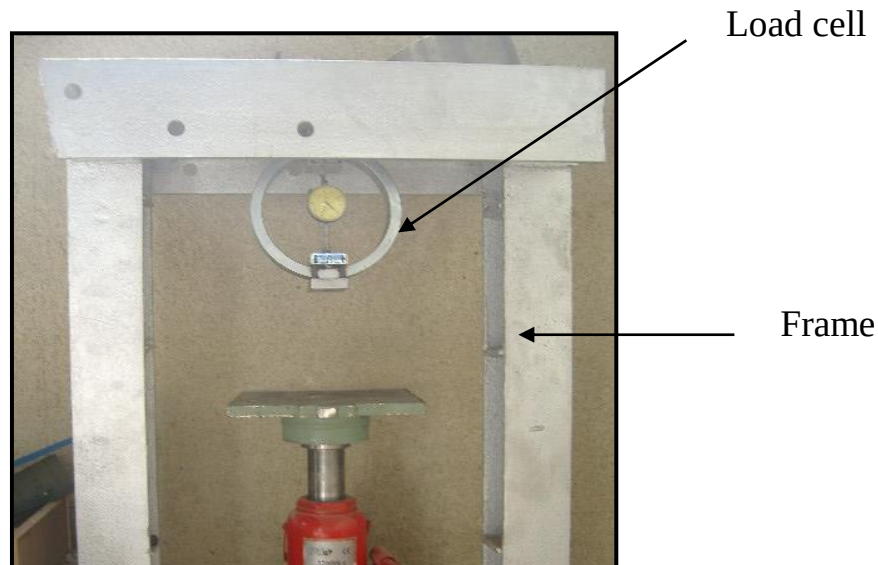
2- يوضع الخليط البولييمري في تجويف القالب ثم يوضع في الفرن (نوع (300) موديل (15D) درجة حرارته (100-550F) انتاج شركة PHENOIX PRODUCT COMPANY INC. امريكي المنشأ) لمدة ساعة تقريباً لصهر الخليط البولييمري.

3- تم اخراج القالب من الفرن ثم يوضع في المكبس،(وهو ذو اطار حديدي يحتوي على (jack) ذو حمولة (15000 Kg) ويحتوي على مقياس (Gauge) لقياس الضغط المسلط عند الكبس) ،لغرض كبس النموذج ولمدة (15) دقيقة تقريباً وبضغط يتراوح (2-4) طن تقريباً وبشكل تدريجي لاعطاء الوقت الكافي لتشكيل النموذج من دون خروجه من جوانب القالب ،والشكل (3-3) يوضح المكبس المستخدم في البحث.

4- تم اخراج النموذج بعد تبريده ثم يتم اجراء عمليات قطع للنماذج باستخدام ادوات القطع المختلفة وحسب الشكل المطلوب لإجراء الفحوصات المختبرية عليه (بالنسبة لنماذج الشد والانحناء) مع مراعاة عدم تأثر العينات بعمليات القطع لمنع حصول العيوب والتشققات (Cracks).

5- تم إجراء عمليات صقل وتنعيم العينات بورق تنعيم مختلفة من كربيد السليكون للتخلص من العيوب السطحية.

ان اضافة النسب الوزنية المختلفة من المطاط الى البولييمر الاساسي (HDPE) وإجراء الفحوصات اللازمة عليها تهدف الى الوصول الى النسبة التي تعطي خواص متانة افضل وتحمل للاحمال الصدمية فضلاً عن الخواص الاخرى ،وتم تضاف الالياف الزجاجية وبنسب (8%-10%) من اجل تحسين الخواص الاخرى التي انخفضت نتيجة اضافة المطاط والحصول على افضل نسبة مضافة والحصول على حالة توازن في الخواص المطلوبة.



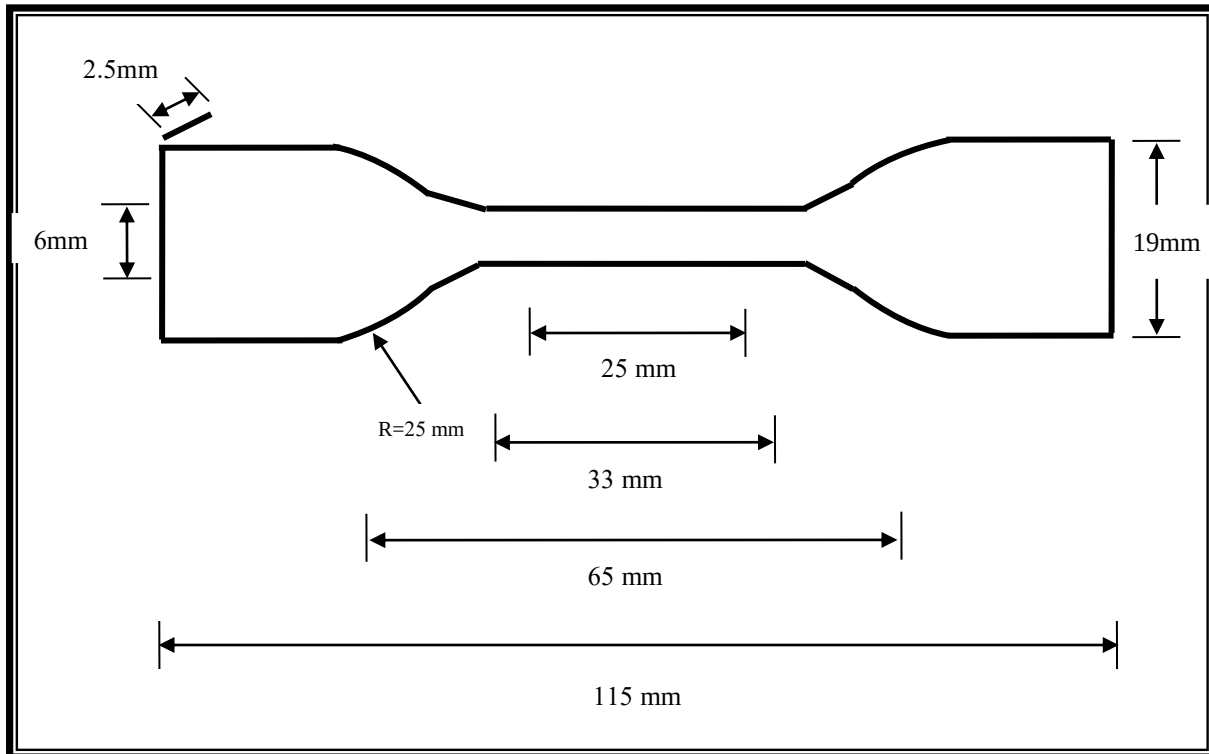
Jack (15000)Kg

الشكل (3-3) يوضح المكبس المستخدم في البحث.

3-5 النماذج والاختبارات المعتمدة (Test & Specimens)

3-5-1 اختبار مقاومة الشد (Tensile Strength Test)

تم استخدام القالب المذكور في الفقرة (3-3) لتحضير هذه العينات، إذ يكون تجويف القالب بأبعاد (30*125mm) ويسمك (12m) حيث اعتمدت المواصفة (ASTM D638)[64] في تصنيع عينات اختبار الشد والموضح في الشكل (3-4)



الشكل (3-4) يوضح عينة اختبار الشد

إذ تم الحصول على عينة الشد من خلال استخدام قاطع (Cutter) له شكل عينة الشد والموجود في معمل اطارات بابل، كما هو موضح في الشكل (5-3)، إذ تم اختبار العينات بسرعة انفعال (5mm/s) للنماذج كافة وفي درجة حرارة الغرفة. في هذه الاختبارات لا يمكن الاعتماد على فحص عينة واحدة بل يجب فحص عينات عدة لغرض التخلص من الفروقات الفردية، ولتقليل نسبة الخطأ التجريبية الناجمة عن عدم تجانس النماذج والشكل (3-6) يوضح عينات فحص الشد قبل وبعد الفحص.



الشكل (5-3) يمثل اداة القطع المستخدمة لعينات الشد



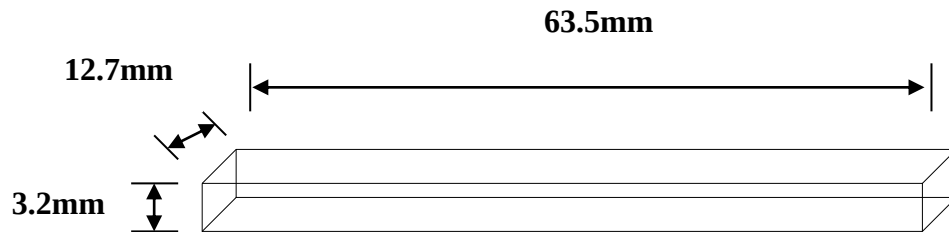
قبل الفحص

بعد الفحص

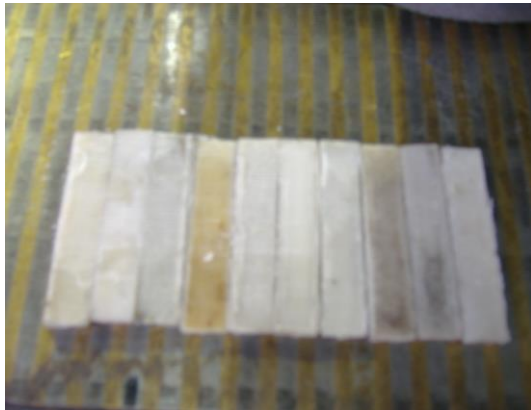
الشكل (3-6) يوضح عينات فحص الشد قبل وبعد الفحص.

3-5-2 اختبار مقاومة الصدمة (Impact Strength Test)

تم تحضير عينات الصدم بالابعاد القياسية (3.2*12.7*63.5) وحسب (ASTM 4812) [66،71] إذ تم تحضير عينات غير محززة والشكل (3-7) يوضح عينة الصدمة ، اما الشكل (3-8) فيوضح العينات المستخدمة في اختبار الصدم قبل وبعد الفحص، وجرى اختبار العينات غير المحززة في درجة حرارة الغرفة (T_R).



والشكل (3-7) يوضح الشكل الهندسي لعينة الصدمة



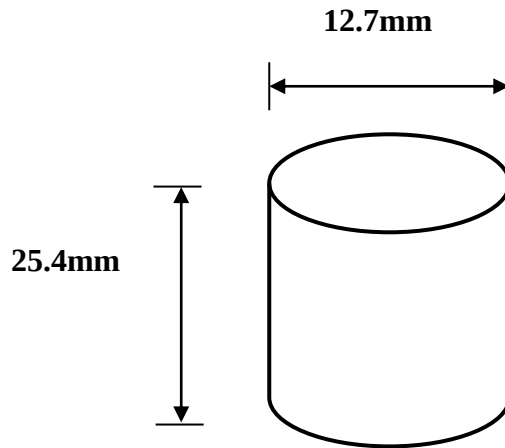
قبل الفحص

بعد الفحص

الشكل (3-8) يوضح العينات المستخدمة في اختبار الصدمة

3-5-3 اختبار مقاومة الانضغاط (Compr. Strength Test)

تم تحضير عينات الانضغاط بالإبعاد القياسية وهي بشكل قرص دائري قطرها (12.7mm) وارتفاع (25.4mm)، وحسب المواصفة (ASTM D695) [66،72] والشكل (3-9) يوضح مخطط عينات الانضغاط، أما الشكل (3-10) فيوضح العينات المستخدمة في فحص الانضغاط، وإذ تم الفحص في درجة حرارة الغرفة.



الشكل (3-9) يوضح الشكل الهندسي لعينة الانضغاط



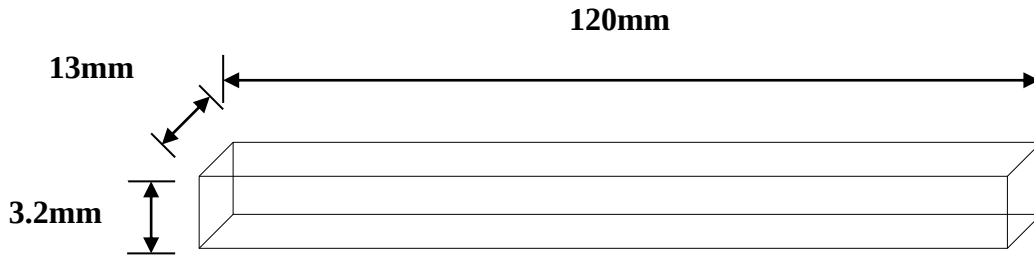
قبل الفحص

بعد الفحص

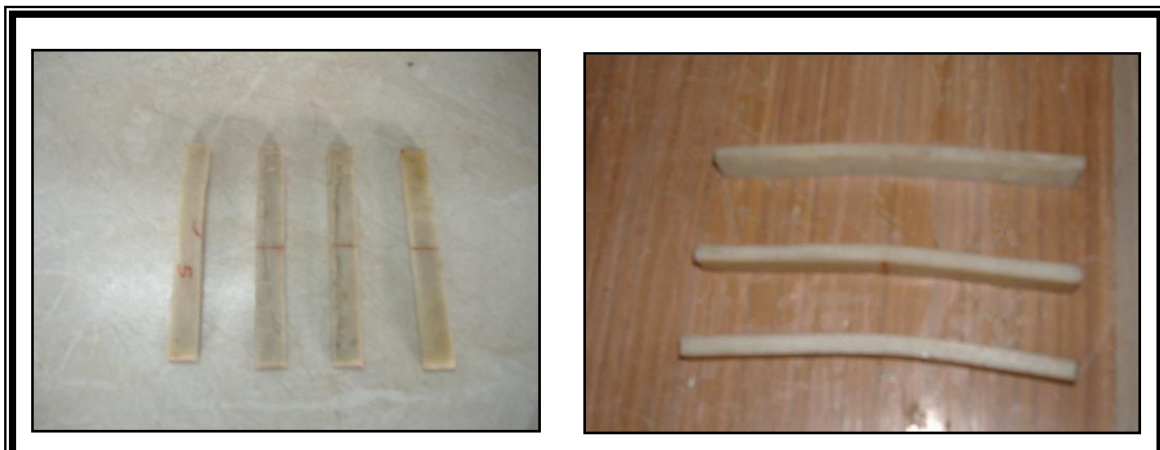
الشكل (3-10) يوضح العينات المستخدمة في اختبار الانضغاط

3-5-4 اختبار مقاومة الانحناء (Bending Strength Test)

تم تحضير عينات مقاومة اختبار الانحناء بالابعاد القياسية، إذ كان طول العينة (120mm) وعرضها (13mm) وسمكها (3.2mm)، وحسب المواصفة (ASTM D790) [67] وكما موضح في الشكل (3-11)، أما الشكل (3-12) فيوضح العينات المستخدمة في فحص مقاومة الانحناء، وتم الفحص في درجة حرارة الغرفة.



الشكل (3-11) يوضح الشكل الهندسي لعينة الانحناء



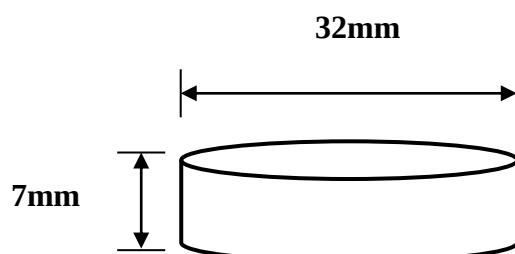
قبل الفحص

بعد الفحص

الشكل (3-12) يوضح العينات المستخدمة في اختبار الانحناء

3-5-5 اختبار الصلادة (Hardness Test)

تم تحضير عينات اختبار الصلادة بأبعاد قياسية وهي قص دائري بسمك أكبر (6.4mm) وحسب (ASTMD2240)[66]، كما موضح في الشكل (3-13)، أما الشكل (3-14) فيوضح العينات المستخدمة في فحص الصلادة، إذ تم الاختبار في درجة حرارة الغرفة.



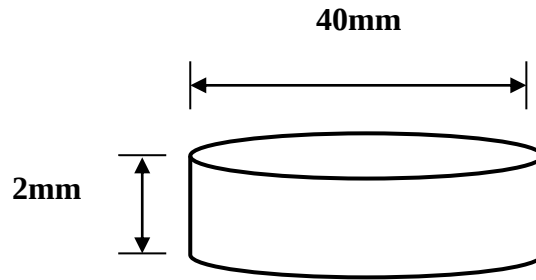
الشكل (3-13) يوضح الشكل الهندسي لعينة الصلادة



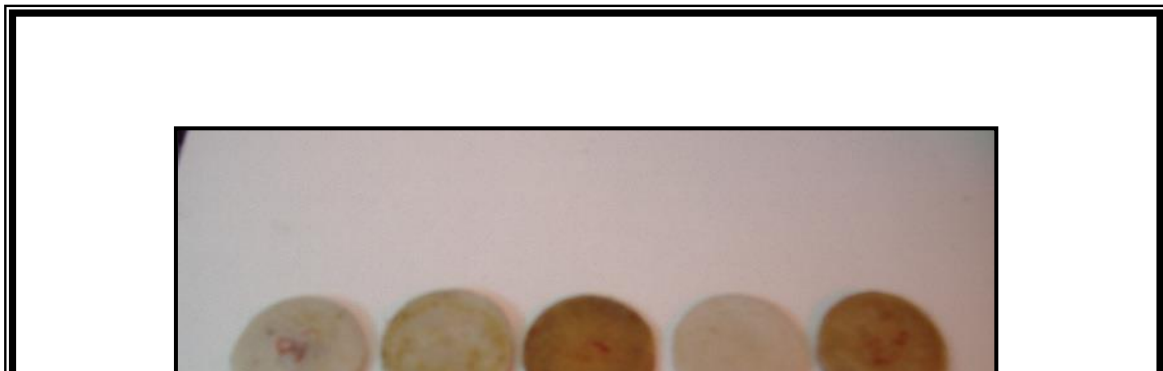
الشكل (3-14) يوضح العينات المستخدمة في اختبار الصلادة

3-5-6 اختبار الموصلية الحرارية (Thermal Conduc. Test)

تم تقطيع عينات دائرية بقطر (40mm) ملائمة لاختبار قرص لي (Lee disk) [10]، والشكل (3-15) يوضح مخطط عينات فحص التوصلية الحرارية ، إذ تم تنعيم جميع العينات قبل الاختبار للتخلص من العيوب والنتوءات السطحية باستخدام ورق كاريبيد السليكون بدرجات نعومة مختلفة والشكل (3-16) يوضح العينات المستخدمة في فحص الموصلية الحرارية.



الشكل (3-15) يوضح الشكل الهندسي لعينة الموصلية الحرارية

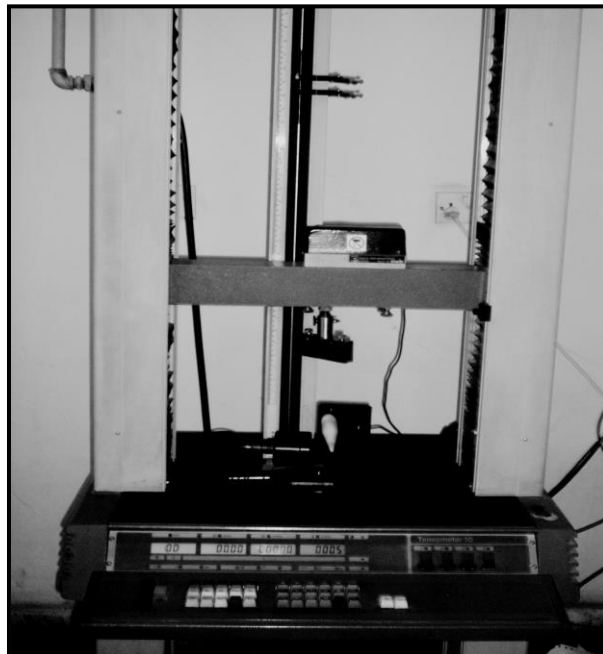


الشكل (3-16) يوضح العينات المستخدمة في اختبار الموصلية الحرارية 3-6-3 الاجهزة المستخدمة والاساليب التقنية المتبعة (Used Instruments and Technical Method)

ان الاجهزة التي تم استخدامها في هذا البحث لاجراء الفحوصات اللازمة هي:

3-6-1 جهاز اختبار الشد (Tensile Test Instrument)

استخدم جهاز الشد (Monsanto T10 tensometer machine) لغرض فحص عينات الشد بمعدل اجهاد (50 MPa) ومعدل انفعال (100%) وبسرعة (5 mm/min)، وذلك لايجاد مقاومة الشد، ومعامل المرونة (E) لجميع العينات على اختلاف انواعها. وقد اجري الاختبار بدرجة حرارة المختبر إذ تم تثبيت العينة في الجهاز بواسطة فكين في الاعلى و الاسفل ، بعدها تم اجراء الاختبار وذلك بتسليط قوة شد على العينة. والشكل (3-17) يوضح شكل الجهاز المستخدم في الاختبار .



الشكل (3-17) يوضح شكل الجهاز المستخدم في الاختبار

3-6-2 جهاز اختبار مقاومة الصدم (Impact St. Test Instr.)

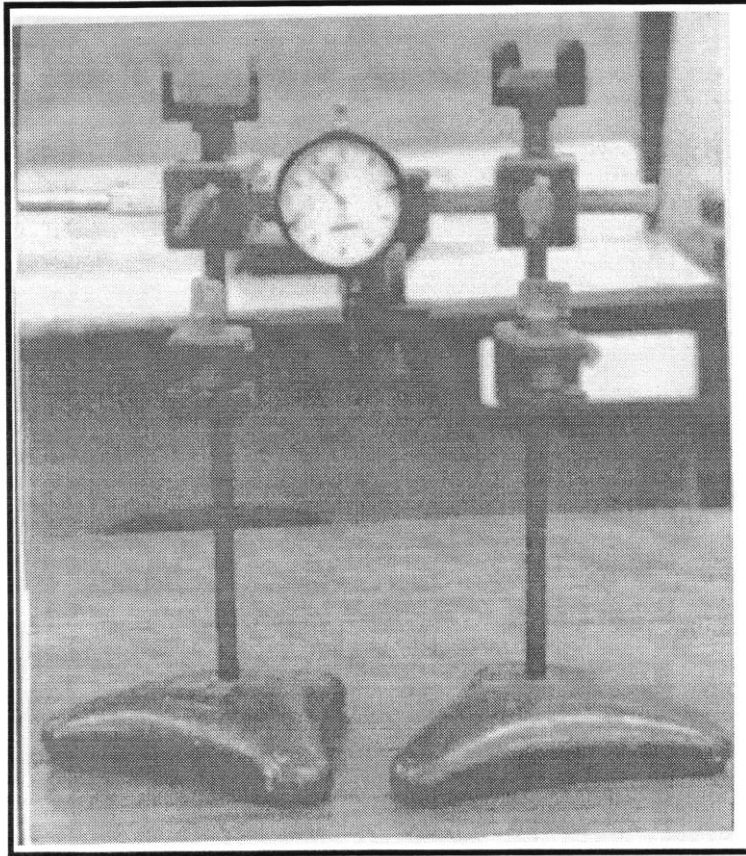
استخدم في هذا الاختبار جهاز فحص الصدم نوع جاريبي (Charpy Impact Test Instrument) والموضحة اجزائه في الشكل (3-18). حيث يتكون من بندول مثبت في نهايته مطرقة خاصة لكسر العينات، ومن الطرف الاخر يرتبط هذا البندول بقرص دائري مدرج بتدرجات خاصة لحساب مقدار الطاقة المصروفة لكسر العينة. في بدء الاختبار تم رفع البندول الى الاعلى بحيث يتم تثبيته بواسطة مثبت موجود في الجهاز، ثم يصفر مؤشر تدرج القرص. توضع العينة في المكان المخصص لها في الجهاز بشكل عتبة بسيطة بطول (63mm)، بحيث يكون اتجاه البندول عمودي على عرض العينة، بعدها يحرر البندول الذي يعمل بمبدأ الجاذبية ليكسر العينة حيث تتحول الطاقة الكامنة للبندول الى طاقة حركية تفقد جزءاً منها في كسر العينة، ويمتلك البندول طاقة مقدارها طاقته (5Joule) وبسرعة (3.14 m/s). وقد تم اجراء الاختبار للعينات جميعها في درجة حرارة المختبر.



3-6-3 جهاز اختبار

لغرض حساب معامل المرونة لجميع المواد، يستخدم جهاز فحص خاص للمرونة والمبين بالشكل (3-19) والمصنع من شركة (Phywe) الالمانية والذي تثبت فيه العينة من طرفيها على مرتكزين وتعلق الكتل (Loads) بصورة تدريجية على الحامل المثبت عند منتصف العينة مما يسبب

انحناءها تدريجياً ومن خلال مؤشر مقياس الانحراف يمكن قراءة مقدار الانحراف (Deflection) الحاصل للعينة ذات الأبعاد المعلومة وبتطبيق المعادلة (3-32) يتم حساب معامل المرونة لجميع النماذج في درجة حرارة الغرفة .

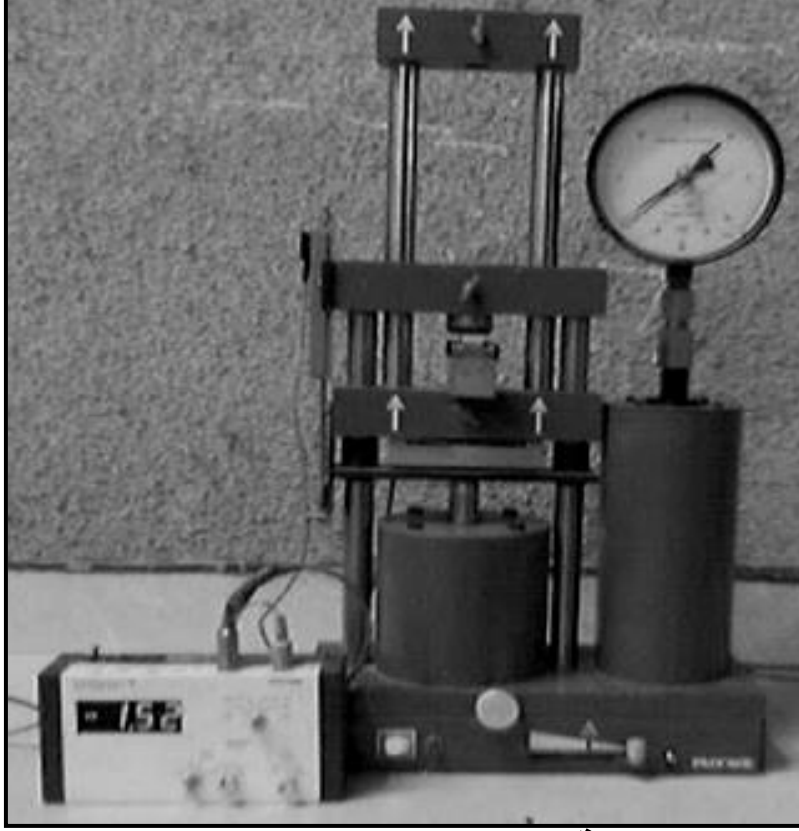


الشكل (19- 3) جهاز الانحناء لقياس معامل المرونة

3-6-4 جهاز اختبار مقاومة الانحناء (Bending St. Test Inst.)

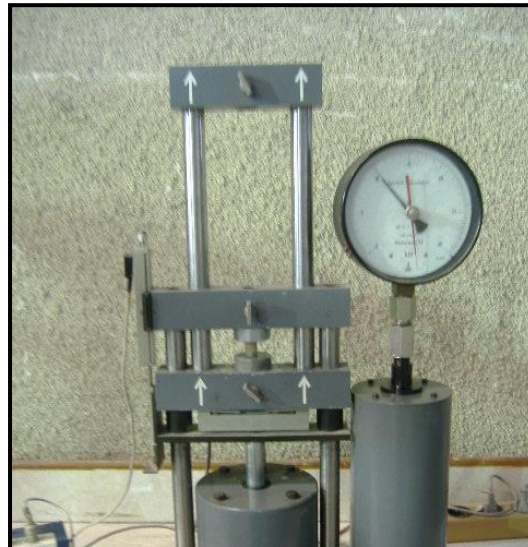
استخدم جهاز الاختبارات العامة نوع (PHYWE Universal Testing Machine) الماني المنشأ في اختبار عينات الانحناء والموضح في الشكل (20-3) الذي يمثل اختبار ثلاثي النقاط (TreePoint Bending Test)، وتم اجراء الاختبار بدرجة حرارة المختبر والتي كانت بحدود (20C) حيث توضع العينة على نقطتي ارتكاز ومن الاعلى يوجد رأس مدبب يمثل نقطة ارتكاز في وسط العينة، بعدها تم تسليط قوة على العينة، وذلك باستخدام مكبس هيدروليكي لقياس قوة الانحناء

(KN) ومقدار الانحراف الحاصل (Deflection) بالعينة (mm) وبسرعة (0.05 mm/min)، ويتم تسجيلها بالمقياس الالكتروني الموجود مع الجهاز.



3-6-5 جهاز اختبار مقاومة الانضغاط (Comp.St. Test Instr.)

تم استخدام الجهاز المستخدم في حساب مقاومة الانحناء لقياس مقاومة الانضغاط نفسه، حيث توضع العينة تحت مسند ثم يسلط عليها قوة حتى تصل إلى حالة الفشل، وتم إجراء الاختبار في درجة حرارة المختبر. والشكل (3-21) يوضح جهاز الفحص المستخدم



الشكل (3-21) يوضح جهاز اختبار مقاومة الانضغاط

3-6-6 جهاز اختبار الصلادة (Hardness Test Instrument)

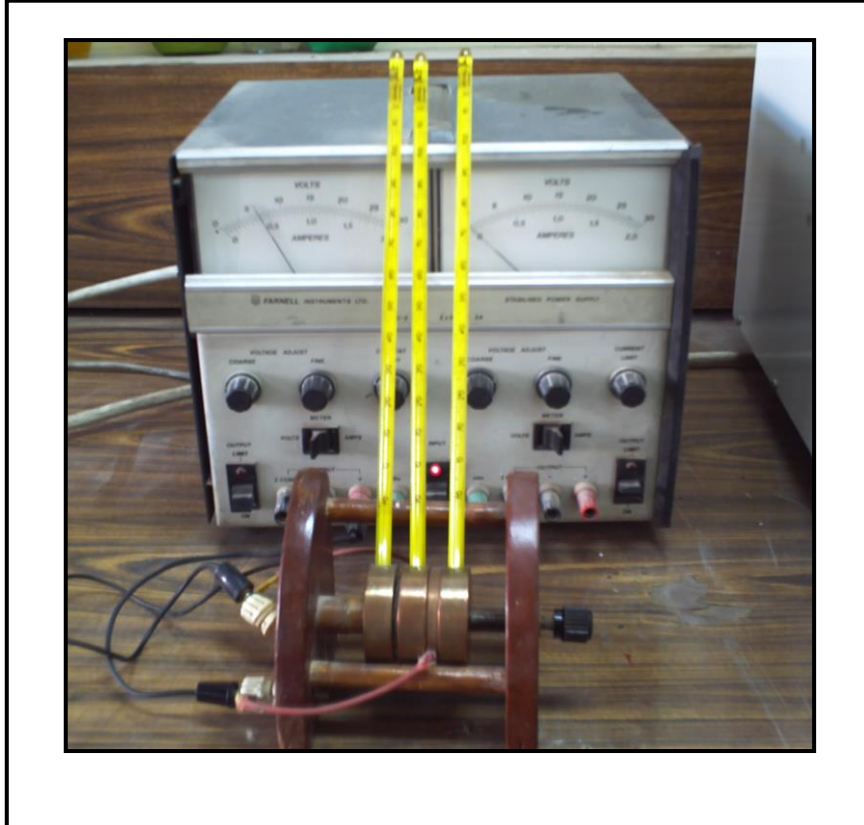
استخدم جهاز اختبار صلادة مقياس التحمل نوع (100 Shore A Type Zwick) والموضح في الشكل (3-22)، حيث اجري الاختبار على عينات دائرية الشكل، وذلك بتسليط حمل على العينة ويعطي مقدار الصلادة مقارنة بصلادة الزجاج او الحديد التي تقدر ب(100)، وتم اجراء الاختبار بدرجة حرارة المختبر.



الشكل (3-22) جهاز اختبار الصلادة

3-6-7 جهاز اختبار الموصلية الحرارية (The. Con.Test Inst.)

استخدم جهاز قرص لي (Lee disk) المصنع من شركة (Griffen and George) لغرض حساب معامل التوصيل الحراري لجميع النماذج، كما موضح في الشكل (3-23)، وفيه يتم انتقال الحرارة من المسخن الى القرص الذي يليه حتى يصل الى القرص الاخير وبالامكان تحديد درجة الاقراص الثلاثة (T_A, T_B, T_C) باستخدام المحاريير الموضوعة داخلها ومن الضروري التأكد من نظافة سطوح الاقراص المصنوعة من النحاس، وان تكون متماسة بصورة جيدة للحصول على افضل انتقال للحرارة عبرها، وثم بعدها يحسب معامل التوصيل الحراري (K) للنماذج.



Chapter Four

Results and Discussion

النتائج والمناقشة

(Introduction)

4-1 المقدمة

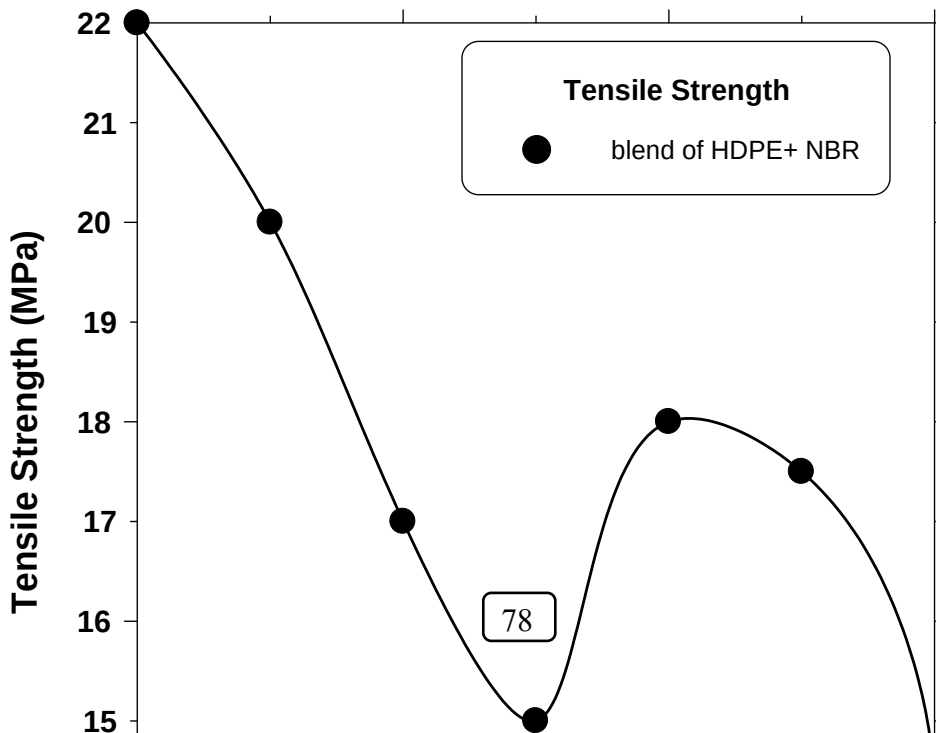
تم في هذا الفصل عرض النتائج العملية التي تم التوصل إليها ومناقشتها من خلال الدراسة الحالية والتي شملت دراسة الخواص الميكانيكية والفيزيائية (مقاومة الشد ، معامل المرونة، مقاومة الصدم، مقاومة الانحناء، مقاومة الانضغاط، الموصلية الحرارية) لخلائط البولي اثلين عالي الكثافة مع المطاط الصناعي NBR والمواد المركبة التي تم تصنيعها ودراسة اهم العناصر المؤثرة على خواصها باضافة مادة NBR والياف زجاجية.

4-2 تأثير اضافة مطاط NBR على الخصائص الميكانيكية والفيزيائية العامة

4-2-1 تأثير اضافة مطاط NBR على الخصائص الميكانيكية العامة (مقاومة الشد ، معامل مرونة، استطالة، مقاومة انحناء، مقاومة انضغاط ،صلادة) لمادة HDPE

من خلال التجارب التي تم اجراءها على مادة HDPE بعد اضافة مطاط NBR بنسب تتراوح بين (5,10,15,20,25,30 %wt.) أدى ذلك الى حصول تغيرات في الخصائص الفيزيائية والميكانيكية ،وفيما يأتي عرض لاهم هذه التأثيرات والاسباب التي تم التوصل اليها: تم اجراء اختبار الشد لعينات من الخلائط ذات أساس من البولي اثلين مع المطاط الصناعي NBR و بنسب (5,10,15,20,25,30 %wt.). الشكل (4-1) يوضح نتائج هذا الاختبار على هذه العينات من خلال متابعة منحنى النتائج .

نلاحظ انخفاض مقاومة الشد لهذه النماذج من (22-15 MPa) لعينات البولي اثلين عالي الكثافة النقية ،ونماذج من الخلائط البوليمرية مع المطاط، حيث أظهرت نتائج اختبار الشد انخفاض المقاومة عند النسب (5,10,15%wt.).



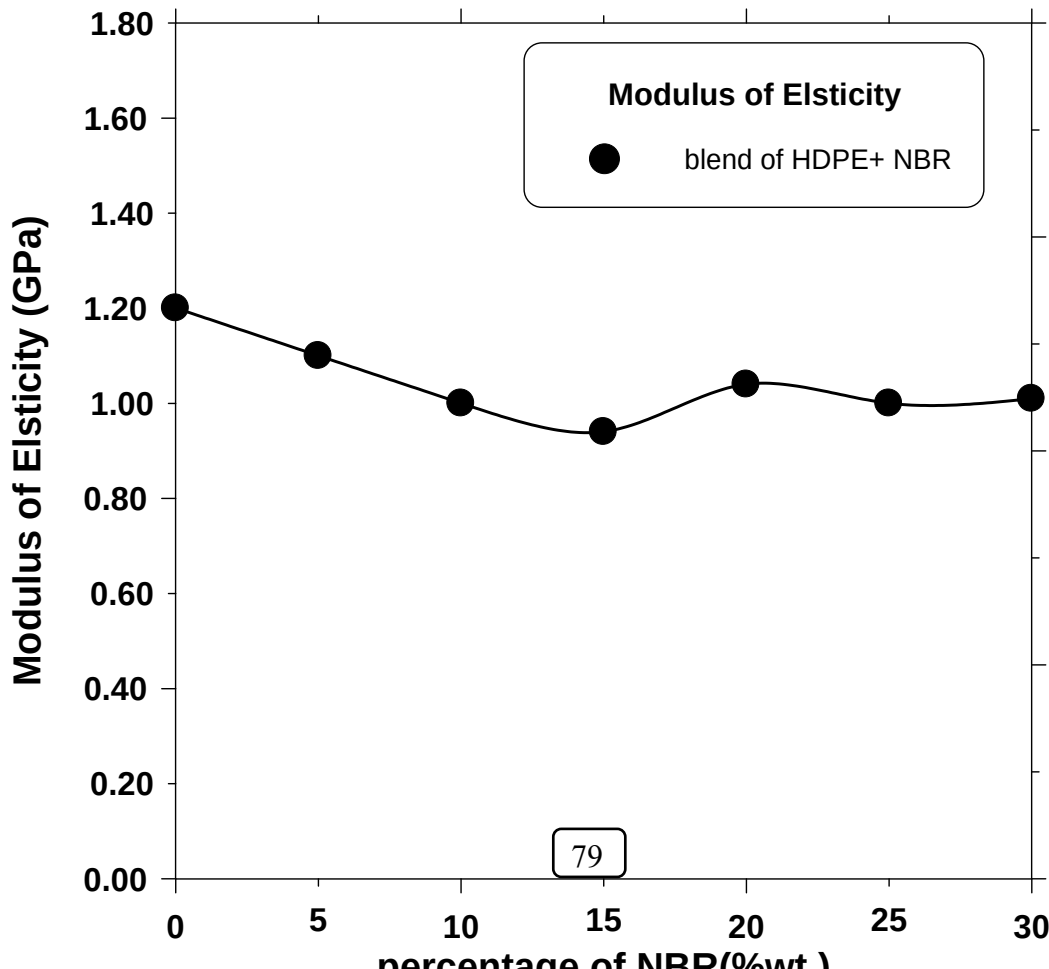
الشكل (4-1) يوضح منحنى نتائج اختبار مقاومة الشد لخليط HDPE/NBR مع نسب مختلفة من المطاط

ان السبب في ذلك يعود الى ان زيادة النسبة الوزنية للمطاط NBR يقلل من خاصية مقاومة الشد وهذا بالطبع يرجع الى ان زيادة مادة NBR تعني زيادة السلاسل البوليمرية المرنة التي تتشابه مع سلاسل البولي اثلين عالي الكثافة، والتي تمتاز بارتفاع معامل مرونتها بسبب وجود التراكيب البلورية مقارنة مع سلاسل البوليمر بالتالي فان حصيلة هذا التداخل يؤدي الى زيادة مرونة المادة من خلال الحصول على التوافقية بين المادتين ومن ثم زيادة معدل الانفعال المرن عند الاجهاد نفسه إذ ان معامل المرونة هو النسبة بين الاجهاد الى الانفعال.

ومن خلال ما تقدم نستنتج ان زيادة نسبة المطاط NBR تقود الى انخفاض حاد في قيم مقاومة الشد بعد قيمة (5%) الى قيمة (15%) حيث يبدأ بعدها تحسن ملحوظ في المقاومة وهذا يرجع الى بعد نسبة (15%) من المطاط يحصل انعزال بين المادتين بشكل طبقات وبالتالي تعمل كل مادة على حدة اثناء الفحوصات وبذلك قد يحدث الكسر في مادة البولي اثلين عالي الكثافة واستطالة وتشوه في المطاط، وهذا ما يبدو واضحاً جداً من خلال فحوصات معامل المرونة لمادة HDPE مع نسبة NBR والمبين بالشكل (4-2).

تم الحصول على نتائج معامل المرونة لعينات من الخلائط ذات أساس من البولي اثلين مع المطاط الصناعي NBR، و بنسب (5,10,15,20,25,30 wt%) من خلال اختبار الانحناء (Bending Test).

حيث أظهرت نتائج اختبار معامل المرونة للخلائط انخفاض معامل المرونة مع زيادة نسبة المطاط ابتداءً من (1.2GPa) لعينات البولي اثلين عالي الكثافة النقية إلى (0.94GPa) لعينات الخلائط البوليمرية مع المطاط عند (15%).

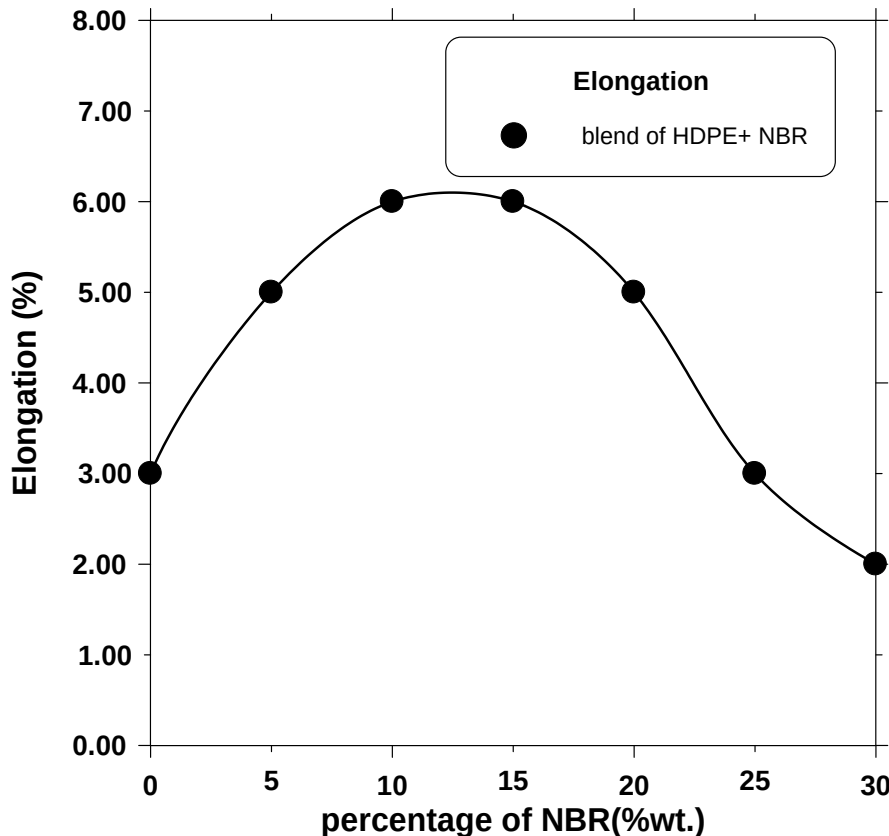


الشكل (4-2) يوضح منحنى نتائج معامل المرونة لخليط HDPE/NBR مع نسب مختلفة من المطاط

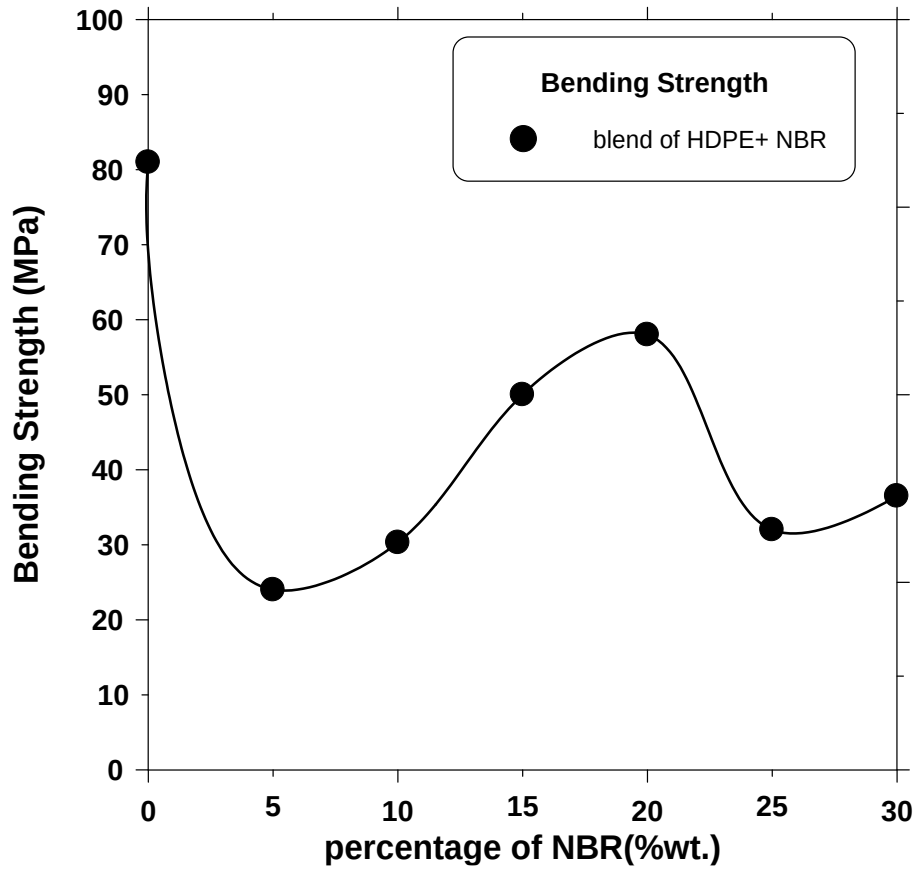
وهذا ناتج عن زيادة الانفعالات (الاستطالة) وهذا السلوك مشابه الى سلوك منحنى تأثير نسبة المطاط NBR على مقاومة الشد التي تم تفسيرها بسبب وجود سلاسل المطاط ذات الاستقطابية العالية بين سلاسل البولي اثلين عالي الكثافة وانخفاض الحجم الحر كما مبين بالشكل (4-3)، إذ ان العلاقة بين هذه العوامل متداخلة حسب قانون هوك ($\sigma = E\varepsilon$)، وبما ان الانفعال هو الاستطالة على الطول الاصلي فان هذا يفسر العلاقة بين الاجهاد والاستطالة بوجود ثابت معامل المرونة للمادة وكذلك فان هذا الامر يبدو واضحاً من خلال نتائج اختبار مقاومة الانحناء، التي تعتمد بشكل كبير على انخفاض معامل المرونة للمادة كما مبين بالشكل (4-4). وكذلك انخفاض اجهاد القص نتيجة وجود المطاط والموضح في الشكل (4-5).

ايضاً فان ما يؤكد هذا التأثير وعند النسب نفسها هو ملاحظة فحوصات مقاومة الانضغاط والمبين بالشكل (4-6)، حيث يلاحظ السلوك نفسه لهذا النمحنى مع المنحنيات السابقة، وحيث تبدأ المقاومة بالانخفاض نتيجة انخفاض مقاومة الشد وارتفاع المرونة لحين الوصول الى النسبة الوزنية (10%) بعدها يبدأ تأثير التشابك ونقصان الحجم الحر بشكل واضح، حيث بذلك تزداد مقاومة الانضغاط.

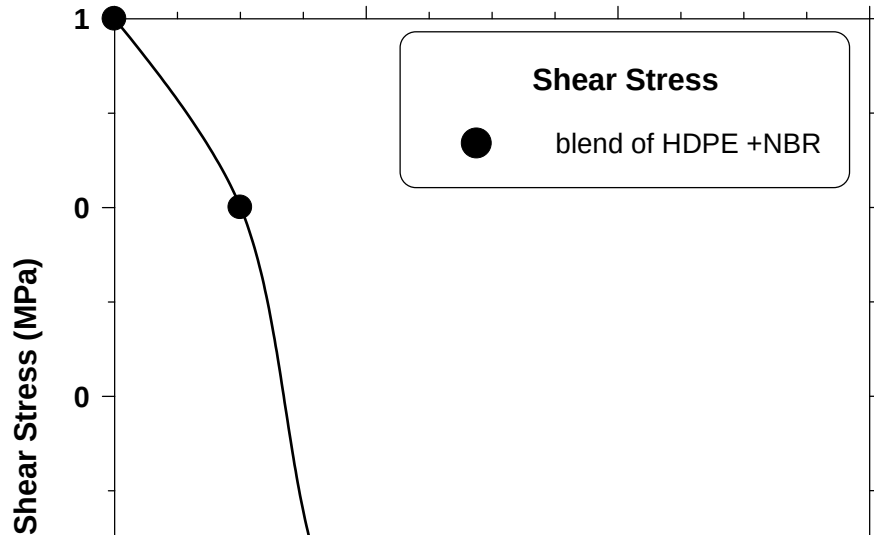
ان هذا التأثير ايضا تم التأكد منه باستخدام فحوصات الصلادة والمبين بالشكل (4-7)، حيث نلاحظ السلوك نفسه مع مقاومة الشد والانضغاط حيث ان هذه الخصائص معتمدة على بعضها (dependence).



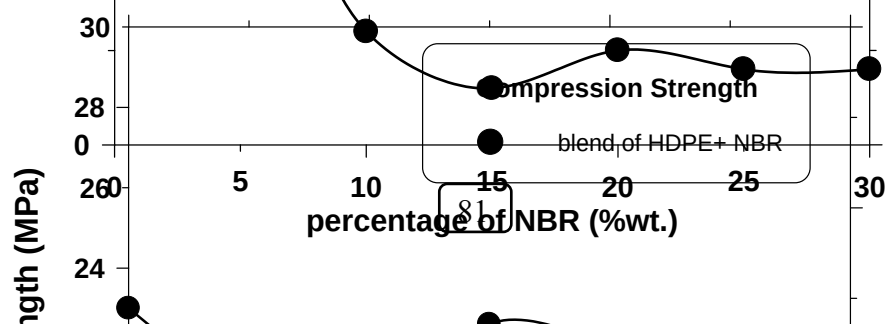
الشكل (4-3) يوضح منحنى نتائج الاستطالة لخليط HDPE/NBR مع نسب مختلفة من المطاط



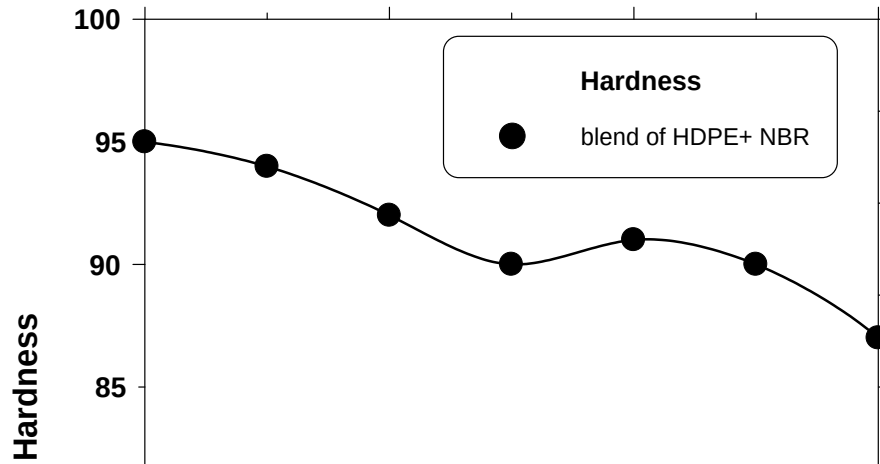
الشكل (4-4) يوضح منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخليط HDPE/NBR مع نسب مختلفة من المطاط



الشكل (4-5) يوضح منحنى نتائج مقاومة القص لخليط HDPE/NBR مع نسب مختلفة من المطاط



الشكل (4-6) يوضح منحنى نتائج مقاومة الانضغاط لخليط HDPE/NBR مع نسب مختلفة من المطاط



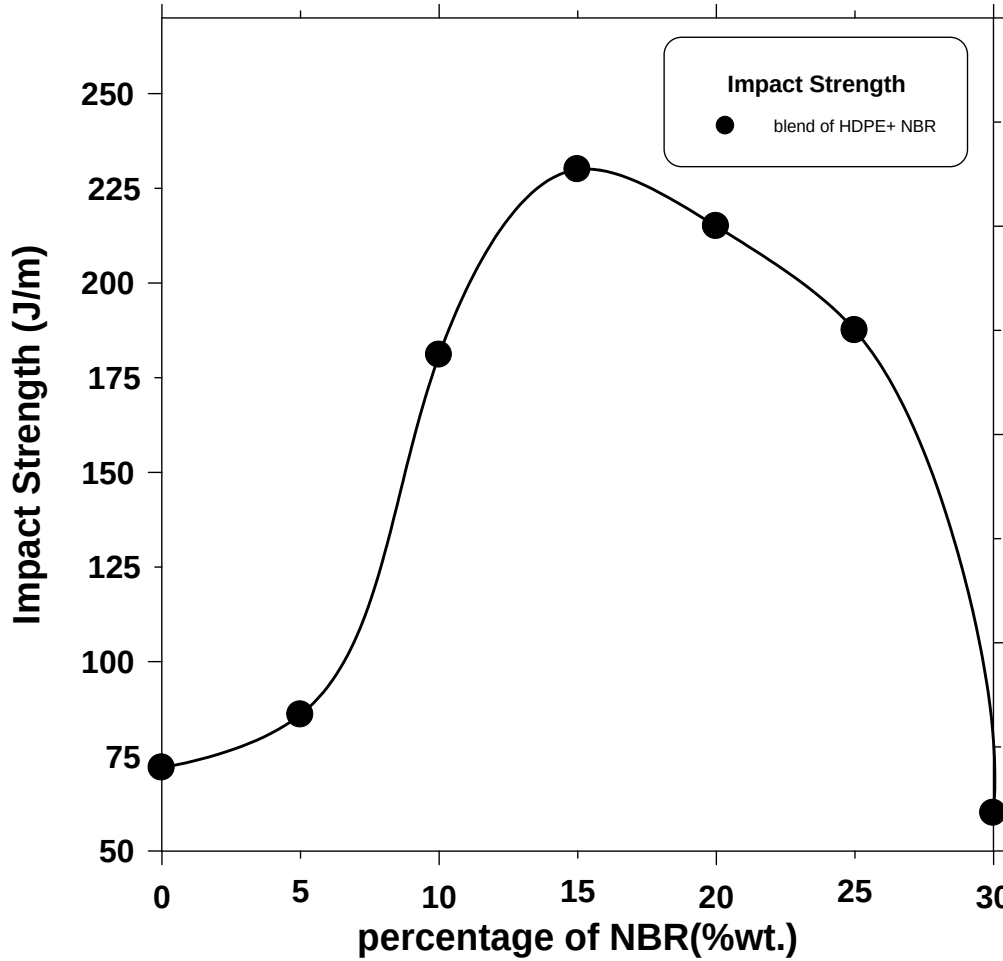
الشكل (4-7) يوضح منحنى نتائج الصلادة لخليط HDPE/NBR مع نسب مختلفة من المطاط

4-2-2 تأثير اضافة NBR على مقاومة الصدمة للبولىمر HDPE (The Effect adding NBR on Impact Strength of HDPE)

تم اجراء اختبار مقاومة الصدمه جاري للمادج من الخلائط ذات أساس من البولي اثلين مع المطاط الصناعي NBR، و بنسب (5,10,15,20,25,30 wt%). الشكل (4-8) يوضح منحنىات نتائج هذا الاختبار .

حيث أظهرت نتائج اختبار مقاومة الصدمه للخلائط ارتفاع قيم مقاومة الصدمه من (72 J/m) لعينات البولي اثلين عالي الكثافة النقية إلى (230 J/m) لعينات الخلائط البوليمرية مع نسب المطاط بحدود (15%).

ومن ملاحظة شكل (4-8) مرة أخرى نلاحظ انخفاض قيم مقاومة الصدم بعد نسبة (15%) ، ومن خلال هذه القيم نستنتج ان افضل نسبة تعطي افضل قيم مقاومة الصدم تتراوح بين (15%-20%).



الشكل (4-8) يوضح منحنى نتائج مقاومة الصدمة لخليط HDPE/NBR مع نسب مختلفة من المطاط

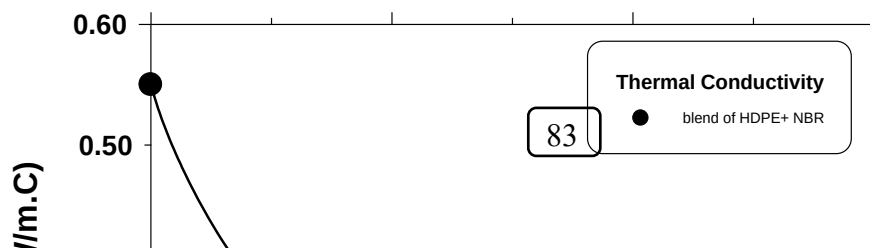
وهذا يرجع بالطبع الى التغير في قيم مقاومة الشد للمادة التي تم ملاحظتها في الشكل (4-1) ، إذ ان ارتفاع المقاومة يعني زيادة صلادة النماذج البوليمرية ومقاومة الانضغاط كما بالشكل (4-5) والشكل (4-6) ، وبما ان المتانة تتناسب عكسيا مع ارتفاع صلادة المادة وعدم قدرتها على امتصاص الجهد الخارجي بالانفعالات المرنة او اللدنة الداخلية او الخارجية وهذا بالطبع يرجع الى اليات التمتين بوجود سلاسل المطاط عند النسب التي تحافظ على عدم انخفاض الحجم الحر [60].

3-4 تأثير اضافة NBR على الموصلية الحرارية للبوليمر HDPE

(The Effect adding NBR on Thermal Conduc. Str. of HDPE)

تم اجراء اختبار الموصلية الحرارية لعينات من الخلائط ذات أساس من البولي اثلين مع المطاط الصناعي NBR و بنسب (5,10,15,20,25,30 wt%). والشكل (4-9) يوضح منحنيات نتائج هذا الاختبار .

كذلك أظهرت نتائج اختبار الموصلية الحرارية للخلائط انخفاض الموصلية الحرارية من $(0.55 \text{ W/m} \cdot \text{C}^\circ)$ لعينات البولي اثلين عالي الكثافة النقية إلى $(0.2 \text{ W/m} \cdot \text{C}^\circ)$ لعينات الخلائط البوليمرية مع زيادة نسبة المطاط، حيث ان وجود المطاط ذو القطبية العالية يقيد حركة الجزيئات وبذلك يمنع اهتزاز الجزيئات بشكل حر التي تكون السبب في زيادة التوصيلية الحرارية.



الشكل (4-9) يوضح منحنى نتائج الموصلية الحرارية لخليط HDPE/NBR مع نسب مختلفة من المطاط

- ولاثبات ما ذهبنا اليه من خلال الاختبارات ومن خلال المقارنة مع الكثير من المصادر نلاحظ ان هنالك اسباب وتفسيرات لكثير من البحوث وهي كما يأتي:
- إن سبب انخفاض مقاومة الشد ومعامل المرونة وزيادة مقاومة الصدمة والاستطالة ومقاومة الانحناء لعينات الخلائط عند زيادة نسب المطاط الى (15%) يمكن ان يعود إلى اسباب عدة منها:
- 1- أن الطور المطاطي (الطور المشتت) في المادة الاساس (الطور المستمر) يمتاز بخواص مقاومة شد منخفضة التي تعتمد ايضا على التوافقية بين المادتين ،وعند هذه النسبة يحصل التوافقية بين المادتين [9,8] .
 - 2- في عمليات الخلائط البوليمرية اذا لم يحصل تفاعل كيميائي او ترابط فيزيائي بين البوليمرين فيحدث فصل الاطوار (Phase Sparation) ويعني ان كل بوليمر يتصرف كأنه قائم لوحده.
 - 3- وحسب نظريات التمتين من الممكن حصول تمتين بالطور الثاني المطاطي وكذلك من خلال الترابط الفيزيائي بين المادتين نتيجة الاستقطابية العالية للمطاط ومن ثم زيادة مقاومة الصدمة والانحناء والمرونة ولكنه لا يقاوم قوى الشد والانضغاط ومن ثم نقصان قليل في قيم مقاومة الشد والانضغاط ومعامل المرونة [60].
 - 4- ان اضافة المطاط لايؤثر بشكل كبير على صلادة الخليط الناتج وانما تنخفض بنسب قليلة.
 - 5- ان انخفاض التوصيلية الحرارية نتيجة حصول العشوائية وتقل Tg ،وان وجود الطور المطاطي المنتشر في الاساس يؤدي الى حدوث استقرارية حرارية [5].

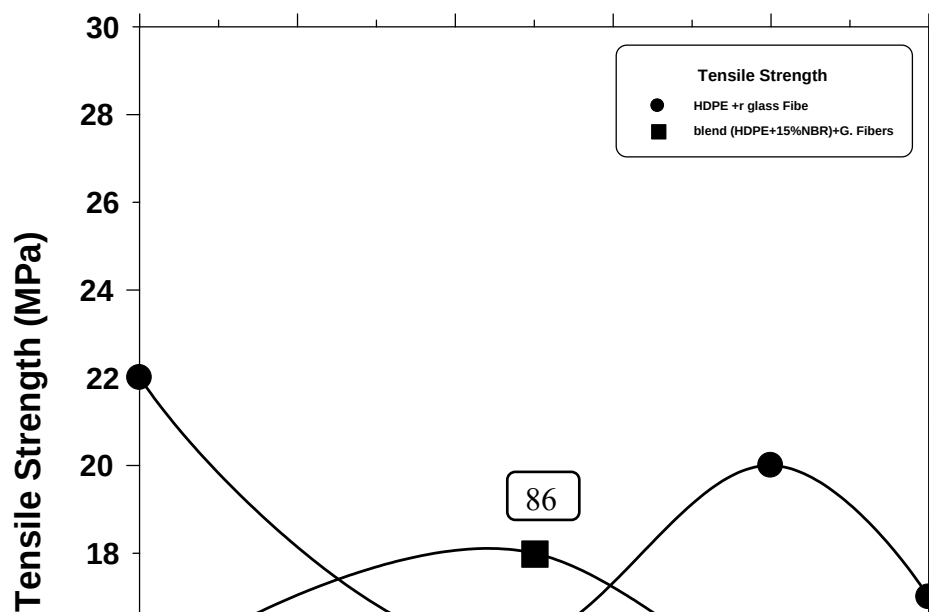
- اما سبب التغير في مقاومة الشد ومعامل المرونة ونقصان مقاومة الصدمة ومقاومة الانحناء والاستطالة فوق نسب مطاط (15%) فمن الممكن ان يكون:
- 1- ان المطاط يعمل فلكنة ديناميكية اثناء عملية الخلط ،وينتشر ويعمل تشابك عند الكمية الفعالة للتشابك وبذلك يزيد من المقاومة [7].
 - 2- ان وجود المطاط بنسب عالية يعني تزايد التداخلات ما بين السلاسل ومن ثم زيادة في جساءة المادة من جهة ،ويقلل الحجم الحر من جهة اخرى [38].
 - 3- يزداد معامل المرونة بزيادة القوى ما بين الجزيئات.
 - 4- ان التغير المفاجئ في قيم الخواص يكون نتيجة حصول انقلاب في الاطوار ،إذ يصبح الطور المشتت هو البولي اثلين عالي الكثافة ،والمطاط هو الطور المستمر [25].

4-4 تأثير اضافة الالياف الزجاجية على الخصائص الميكانيكية والفيزيائية العامة

4-4-1 تأثير اضافة الالياف الزجاجية على الخصائص الميكانيكية العامة (مقاومة الشد، معامل مرونة، استطالة، مقاومة انحناء، مقاومة انضغاط، صلادة) لمادة HDPE

من خلال التجارب التي تم اجراءها على خلائط HDPE/ NBR بعد اضافة الالياف الزجاجية المقطعة بنسب تتراوح بين (5,8,10 %wt.) ادى ذلك الى حصول تغيرات في الخصائص الفيزيائية والميكانيكية وفيما يأتي عرض لاهم هذه التأثيرات والاسباب التي تم التوصل اليها:

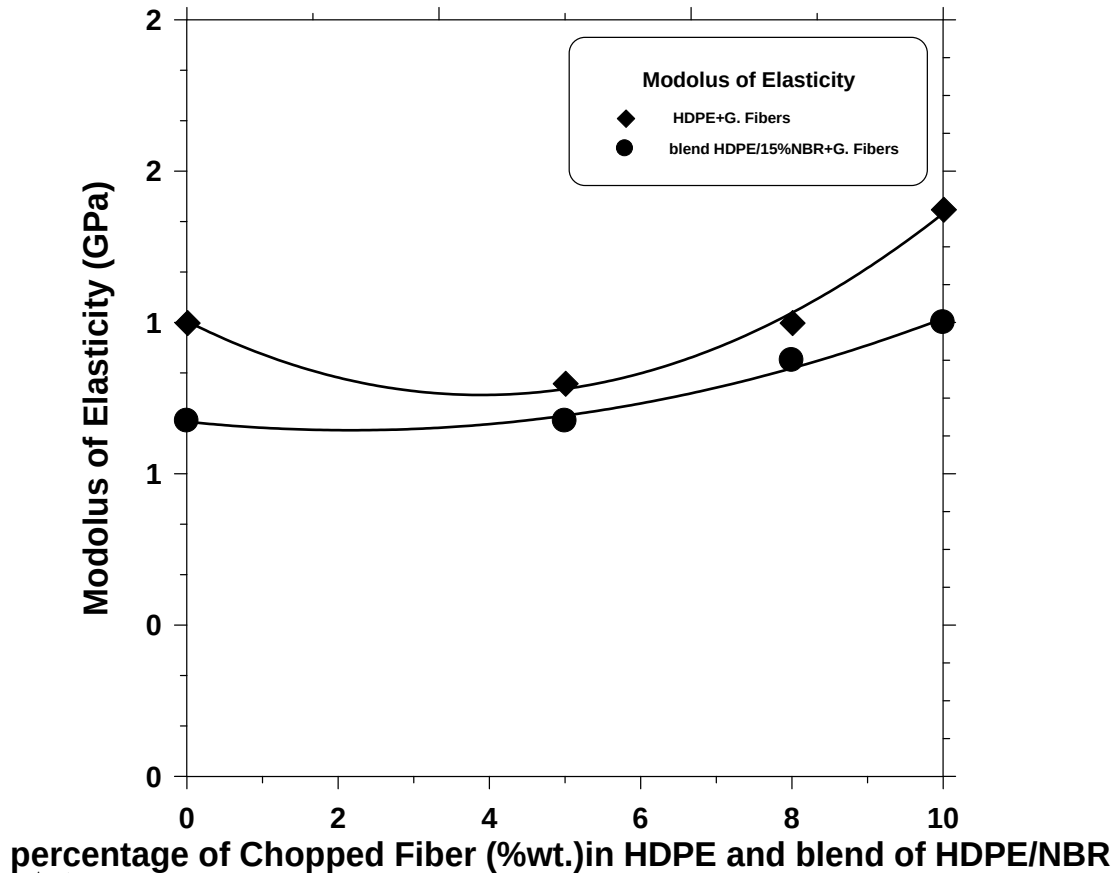
تم اجراء اختبار الشد لعينات من البولي اثلين عالي الكثافة النقي مع الالياف الزجاجية المقطعة والعشوائية و بنسب (5%,8%,10%wt.)، كذلك خلائط البولي اثلين عالي الكثافة مع الالياف الزجاجية و بالنسب نفسها . والشكل (4-10) يوضح نتائج هذا الاختبار .



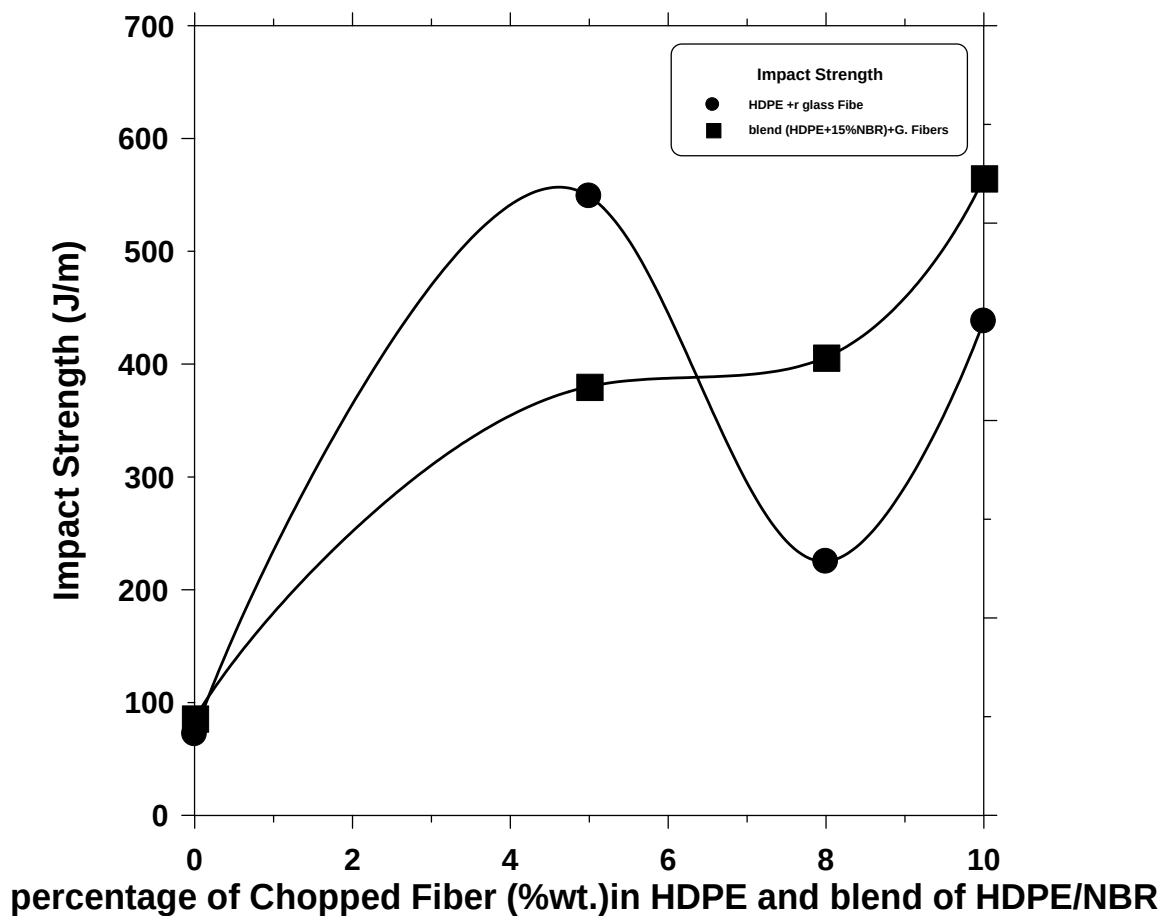
الشكل (4-10) يوضح العلاقة بين منحنى مقاومة الشد لمركبات البولي اثلين عالي الكثافة ومركبات خليط HDPE/NBR مع نسب مختلفة من الالياف

أظهرت نتائج اختبار الشد ان مقاومة الشد للبولي اثلين النقي تنخفض مع زيادة نسبة الليف الى قيمة حوالي 5% بينما تزداد مقاومة الشد للبولي اثلين الممتن بالمطاط مع زيادة نسبة الليف الا ان القيمة تبدأ بالانعكاس ولكلا المادتين بالتصرف بعد نسبة 5% تقريباً للالياف وهذا يرجع بالطبع الى ان أثر المطاط هو أثر يبدو ايجابياً في القيم القليلة، الا انه يصبح سلبياً بعد القيم العالية، وذلك لان المطاط يعمل على تقليل التلاصق بين الالياف، كما ان البولي اثلين يمتاز بمعامل احتكاك اعلى لكونه يمتاز بهشاشة اكبر، كما ان عند حصول انعزال في طبقات الخليط تعمل الالياف على الربط بين هذه الطبقات بالاعتماد على كفاءة قوى الترابط بينهما.

ان المقارنة بين سلوك مقاومة الشد للالياف مع الخلائط للبولي اثلين مع الخصائص الاخرى كمعامل المرونة المبين بالشكل (4-11)، هو اثبات بان وجود الالياف لا يؤدي الى زيادة معامل المرونة بشكل كبير، إذ يكون سلوك هذا المنحني مماثلاً ولكن باقل قيمة وهذا دليل على ان أثر المطاط بالمحافظة على مرونة الخلطات اي ارتفاع قيمة مقاومة الصدم كما هو مبين بالشكل (4-12).

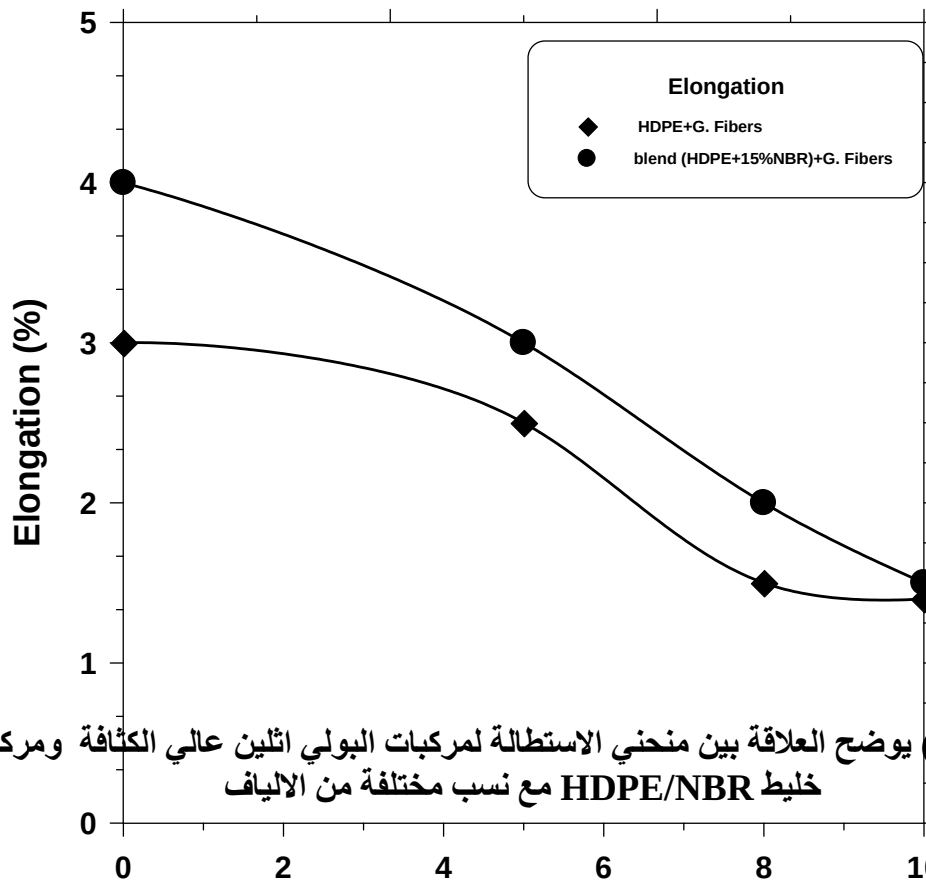


الشكل (4-11) يوضح العلاقة بين منحنى معامل المرونة لمركبات البولي اثلين عالي الكثافة ومركبات خليط HDPE/NBR مع نسب مختلفة من الالياف



الشكل (4-12) يوضح العلاقة بين منحنى مقاومة الصدمة لمركبات البولي اثلين عالي الكثافة ومركبات خليط HDPE/NBR مع نسب مختلفة من الالياف.

ان انخفاض معامل المرونة يؤدي بالتأكيد الى زيادة انفعال المادة وانخفاض الاجهاد ، وذلك لان هذه الخصائص جميعها مرتبطة بقانون هوك ، الذي يساوي ($\sigma = E\varepsilon$) وإذ ان الانفعال هو يتناقص بوجود الالياف لذا فان سبب ارتفاع وانخفاض معامل المرونة يعتمد على مقاومة المادة كما مبين بالشكل (4-13).



الشكل (4-13) يوضح العلاقة بين منحنى الاستطالة لمركبات البولي اثلين عالي الكثافة ومركبات خليط HDPE/NBR مع نسب مختلفة من الالياف

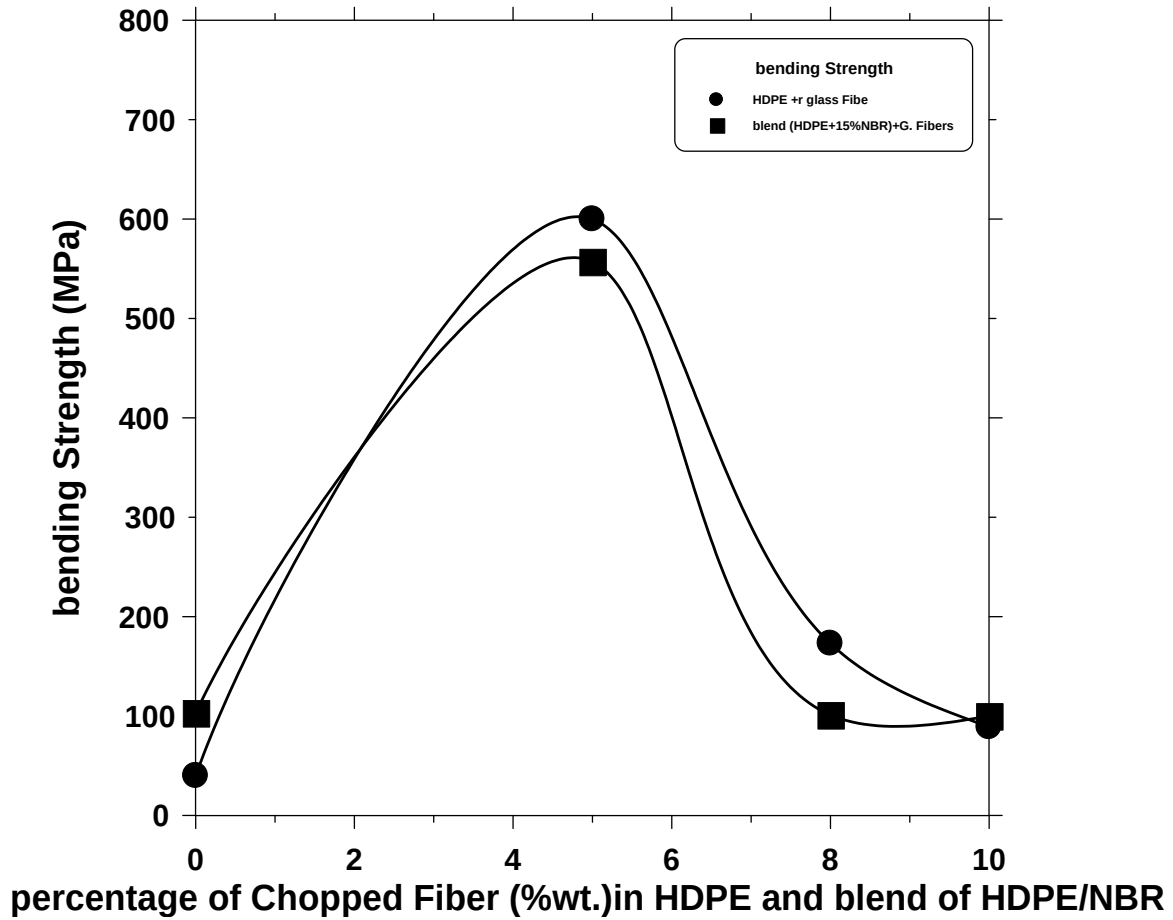
percentage of Chopped Fiber (%wt.) in HDPE and blend of HDPE/NBR

ان تأثير الالياف المقطعة لا يؤدي بالضرورة الى تحسين جميع الخواص بل الوصول الى خواص متعادلة هو الهدف الاهم عن معالجة خاصية ولا يكون تعديل خاصية يؤدي الى تدهور الخواص الاخرى ،لذا فان وجود الالياف ادى الى ازدياد مقاومة الانحناء عند القيم التي لا تتجاوز 5% نسبة وزنية من الالياف اما بعد هذه النقطة فتبدأ خاصية مقاومة الانحناء بالهبوط وهذا نتيجة انخفاض

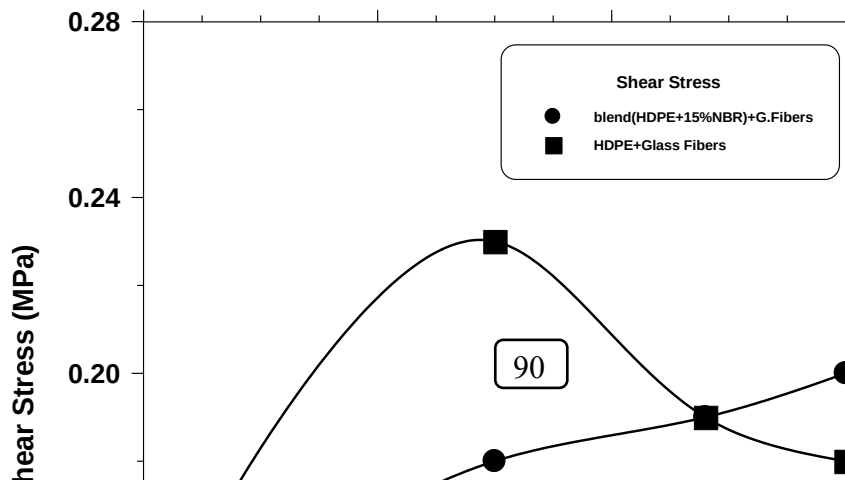
معامل الاحتكاك بين البولي اثلين واللياف الزجاج التي تؤدي الى خفض اجهاد القص والذي يعد اساس ارتفاع مقاومة الانحناء في المادة كما مبين بالشكل (4-14). كذلك تزداد مقاومة القص بشكل طفيف نتيجة وجود الالياف وحسب اتجاه الالياف والموضح بالشكل (4-15).

اما بالنسبة الى فحوصات مقاومة الانضغاط فانها تتأثر ايضا نتيجة التشوه العالي الناتج من المرونة العالية ، ان قيم مقاومة الانضغاط تتحسن الى اقصى قيمة عند (8%) من الليف وهذا يرجع بالطبع عدم وجود المطاط كما مبين بالشكل (4-16) حيث هذه النسبة اختلفت عن النسب الافضل في باقي الخواص حيث يمكن تفسيره من خلال اعتماد مقاومة الانضغاط بالدرجة الاساس على مقاومة المادة الاساس.

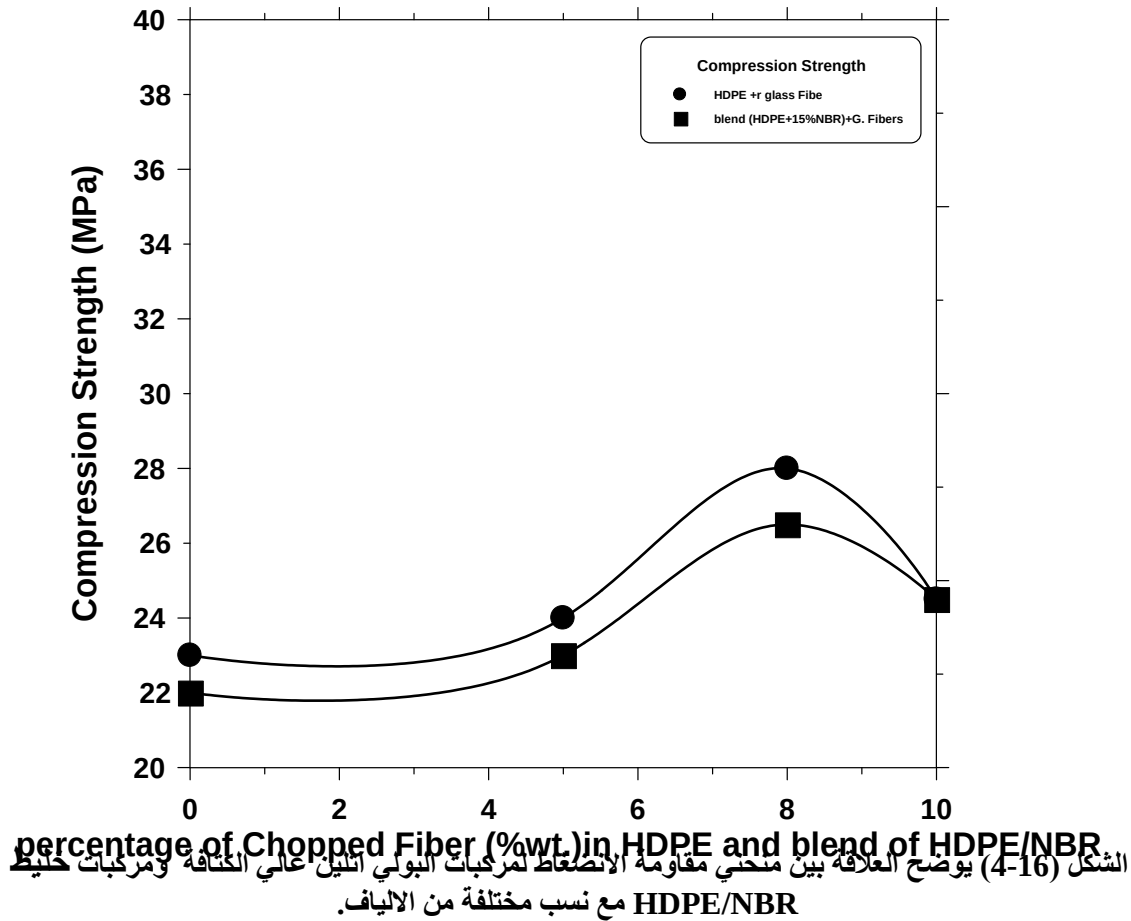
ان ارتفاع المتانة رافقها انخفاض قليل بالخواص ، وهذا يؤكد فعالية هذه الطريقة من التقوية للمحافظة على الخصائص الاخرى من التدهور مع اضافة مطاط NBR .



الشكل (4-14) يوضح العلاقة بين منحنى مقاومة الانحناء لمركبات البولي اثلين عالي الكثافة ومركبات خليط HDPE/NBR مع نسب مختلفة من الالياف



الشكل (4-15) يوضح العلاقة بين منحنى مقاومة القص لمركبات البولي اثلين عالي الكثافة ومركبات خليط HDPE/NBR مع نسب مختلفة من الالياف.



4-4-2 تأثير اضافة الالياف على الموصلية الحرارية لخليط HDPE/NBR

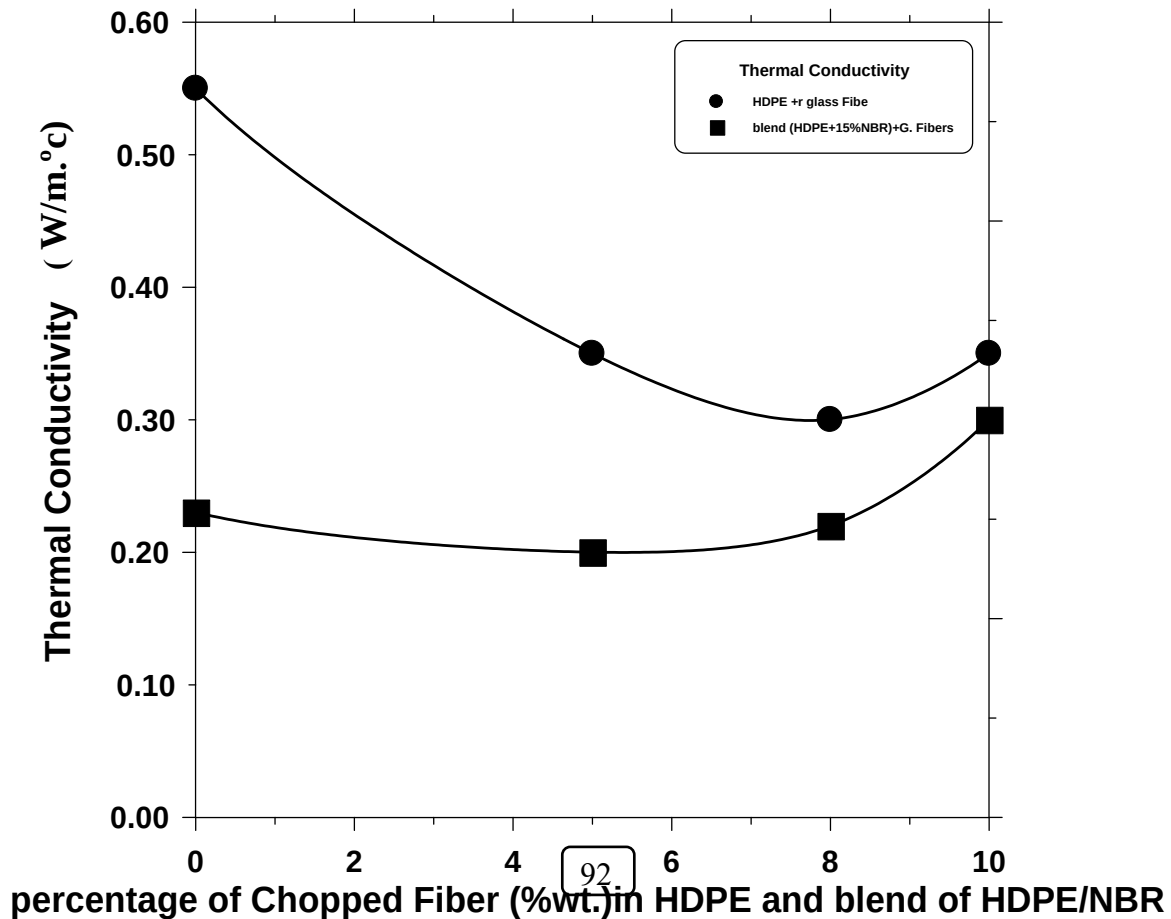
(The Effect Adding Fibers on Thermal Condu. of Blends

HDPE/NBR)

تم اجراء اختبار الموصلية الحرارية لعينات مركبات الخلائط ذات أساس من البولي اثلين عالي الكثافة ومركبات البولي اثلين عالي الكثافة مع الالياف الزجاجية المقطعة والعشوائية و بنسب (5,8,10 wt%)، إذ ان الالياف تنقل من الموصلية الحرارية. الشكل (4-17) يوضح نتائج الاختبار الموصلية لجميع انواع العينات المقواة بالالياف الزجاج .

حيث أظهرت نتائج اختبار الموصلية الحرارية انخفاض الموصلية الحرارية من (0.35W/m.c) إلى (0.26W/m.c) لعينات مركبات البولي اثلين عالي الكثافة النقية المقواة باللياف الزجاج بينما انخفضت الموصلية الحرارية من (0.3W/m.c) إلى (0.2W/m.c) لعينات مركبات الخلأط مع المطاط والمقواة بالاليف الزجاج.

بالرغم من قابلية التوصيل العالية لاليف الزجاج بالمقارنة مع المطاط حيث تعد هذه المواد من المواد المسربة للحرارة التي تعمل على المحافظة على استقرارية الخواص وثباتية الابعاد بالنسبة للاجزاء المصنعة من هذه المادة، الا ان التوصيلة تقل بالمجمل للعينات لان ذلك يعتمد على اتجاه الاليف وكذلك كفاءة الترابط بين الاليف والمادة الاساس حيث ان وجود الفجوات والعيوب نتيجة وجود الاليف من خلال عمليات التصنيع قد يسبب بانخفاض التوصيلية الحرارية. كذلك بالرجوع مرة اخرى الى منحنيات التوصيلية الحرارية نلاحظ ان سلوك المنحنيات هو متماثل، إلا انها تختلف في القيم وبنسب معقولة.



الشكل (17-4) يوضح العلاقة بين منحنى الموصلية الحرارية لمركبات البولي اثلين عالي الكثافة ومركبات خليط HDPE/NBR مع نسب مختلفة من الالياف

ولاثبات ما ذهبنا اليه من خلال الاختبارات ومن خلال المقارنة مع الكثير من المصادر نلاحظ ان هنالك اسباب وتفسيرات لكثير من البحوث وهي كما يأتي:

- 1- إن سبب ارتفاع مقاومة الشد لعينات البولي اثلين عالي الكثافة مع الالياف و مركبات الخلائط البولي اثلين يعود إلى ان الالياف ذات قوة شد عالية بالاتجاه الموازي لها في حالة حصول ترابط جيد وتوزيع جيد للالياف في المادة الاساس ،ومن ثم يزيد من قوة الشد ومعامل المرونة اما في حالة الترابط الضعيف فيعمل كمناطق ضعف في الاساس بينما في الاساس البوليمري وتنخفض مقاومة الشد نتيجة لذلك [4,2] .
- 2- ان التباين في قيم الخواص الناتجة يعتمد على الكسر الوزني للالياف وطريقة توزيعها وانتظامها في المادة الاساس والى الترابط البيئي بينهما [4,5].
- 3- ان الالياف تقاوم نمو الشقوق ،وبذلك تزيد من مقاومة الصدمة للمادة الاساس إذ ان الشق يفضل التحرك باتجاه المناطق الضعيفة من الاساس بدلا من الالياف [4].
- 4- من الممكن ان يعمل المطاط بوصفه مادة رابطة بين الالياف والمادة الاساس وبذلك يزيد من الترابط بينهما [66].
- 5- ان اختلاف نسبة بوزون تؤدي الى انسلاخ الليف ومن ثم حصول الفشل [5].
- 6- تزداد مقاومة الانحناء والانضغاط وفضل نسبة الياف مضافة هي (5%).
- 7- تقل الاستطالة نتيجة وجود الالياف التي تمتاز باستطالة قليلة مقارنة من الاساس البوليمري.
- 8- ان الالياف تزيد من الموصلية الحرارية لان لها توصيلية اكبر باتجاه مواز للالياف واقل باتجاه عمودي عليها من خلال حصول ترابط جيد بين الالياف والمادة الاساس وتعتمد ايضا على توجيه السلاسل والنقاوة [5].

Chapter Five

Conclusions and Recommendations

الاستنتاجات والتوصيات

5-1 الاستنتاجات (Conclusions)

من خلال النتائج التي تم التوصل اليها للدراسة نستنتج ما يأتي :

- 1- تم الحصول على مواد مركبة وبخواص معقولة من التمتين و التقوية بالمطاط والياف الزجاج .
- 2- تزداد خواص مقاومة الصدم (المتانة) عند اضافة المطاط الصناعي NBR ، إذ تكون افضل نسبة اضافة هي (15%) نسبة وزنية من المطاط.
- 3- تنخفض قيم الخصائص الميكانيكية العامة (مقاومة الشد ،معامل المرونة ، مقاومة الانحناء ، مقاومة الانضغاط ، الصلادة) باضافة المطاط.
- 4- ان المطاط يقلل من الموصلية الحرارية ومن ثم الحصول على استقرارية حرارية اكبر.
- 5- تزداد قيم الخصائص الميكانيكية العامة (مقاومة الشد ،معامل المرونة ، مقاومة الانحناء ، مقاومة الانضغاط ، الصلادة) باضافة المطاط عند 20%.
- 6- اضافة الياف الزجاج نوع (E-glass) ادى الى تحسن خواص مقاومة الشد والانضغاط ومعامل المرونة لهذه الخلطة من خلال حصول ترابط جيد بينهما، افضل نسبة الياف مضافة تكون (5%) نسبة وزنية.
- 7- تتحسن او تنخفض خواص التوصيل الحراري باضافة الالياف الزجاجية العشوائية والمقطعة بالاعتماد على اتجاه الالياف و كفاءة الترابط بين الالياف والمادة الاساس واسلوب التصنيع .

5-2 التوصيات (Recommendations)

- 1- دراسة خصائص مواد بوليمرية اخرى مطاوعة للحرارة مثل PP و PS و PVC.
- 2- دراسة خصائص البولي اثلين عالي الكثافة باستخدام انواع اخرى من المطاط مثل SBR و NR و BR.

- 3- دراسة استخدام مواد رابطة و موافقة (Compatiblizer) اخرى مثل maleated polyethylene و epodane و Silane لربط الياف الزجاج مع البولي اثلين.
- 4- دراسة تأثير اتجاه الالياف على الخصائص العامة للبولي اثلين عالي الكثافة .6
- 5- دراسة اجراء فحوصات ميكانيكية اخرى ،مثل اختبار الزحف واختبار الكلال وغيرها للتأكد من مدى تأثير هذه المضافات على الخصائص.
- 6- اجراء التجارب في درجات حرارية متفاوتة لمعرفة تأثيرها على الخواص.
- 7- دراسة الخصائص الكهربائية والبصرية للمواد المستخدمة.
- 8- اجراء تحليلات رياضية معمقة كالتحليل بالطرق العددية (FEM) ،او التحليل باستخدام المعادلات التحليلية التفاضلية.

- 1- **R.Gregg Bruce, M.M.Tomovic, J.E.Neely, R.R.Kibbe** , "Modern Materials and Manufacturing Processes ", 2nd edition, Prentice Hall, Ohio (1998).
- 2- **S.Fellahe and N.Abache**, " Synthesis of PP-g-MAH and evaluation of its effect on properties of glass fibers Reinforced Nylon 6/PP blends ", Plastic and Rubber Engineering department, Sonatrach (1954).
- 3- **قصي كمال جبوري** "دراسة الخواص الميكانيكية لمواد مركبة مقواة بأسلاك معدنية" رسالة ماجستير، هندسة المكنائن والمعدات - الجامعة التكنولوجية، (1998).
- 4- **J.W.Balow, D.R.Paul** polymer Engineering & Science , 21, No.15, 985, (1981).
- 5- **علي هوبي حليم** , "تحسين خواص المواد اللدائنية المقساة" رسالة ماجستير - كلية الهندسة ، جامعة بابل (1999).
- 6- **K. Rashad Al-Rawi** , "compatibility of polymer Blend systems and its Effect on some physical and mechanical properties, PhD Thesis College of Science / Physics, University of Baghdad, (1998).
- 7- **E.G.Chaves, C.A.Deolivera, R.C.R.Numes, L.L.Y.Visconte**, " PP-EPDM-NBR Blends the Influence of added phenolic resin on Processing and Mechanical Properties ". Polymer Bulletin 40, 89-93 (1998).
- 8- **J. Hao, Wenyun Wang, Qiang Fu, Guiheng Wang**, " Ultrasonic Investigation of Brittle-Ductile Transition in High –density polyethylene and nitrile –butadiene rubber blends ", Journal of Material Science Letters 18, 699-701 (1999).
- 9- **M. Dance, Vojko Musil**, " The Influence hermoplastic Elastomers on Morphological and Mechanical Properties of PP\Talc Composites ", Acta chem.slov.146(1) pp.55-67 (1999).
- 10- **نجاح كاظم المسعودي** "دراسة تأثير الظروف البيئية في متراكبات البولي اثلين عالي الكثافة المدعم باسود الكربون " رسالة ماجستير - كلية العلوم، جامعة بابل (2004).

11- S.Ulutan,M.Gilbert, "Mechanical properties of HDPE/magnesium hydroxide composites",Journal of Materials Science ,35,pp.2115-2120 **(2000).**

12- S. Kwon, Kwang J.Kim, Hyun Kim, Patit P.Kundu, TaeJ.Kim, Young K.Lee, Byung H.Lee, and Soonja Choe, " Tensile Properties in Calcite Filled HDPE ,LDPE,and LLDPE Composites ", Department of Chemical Engineering, Inehon ,pp.402-751, South Korea **(2002).**

13- P.A.Lovell,M.O.Munyati ," Mechanical Properties of Rubber Toughened Polyster resins ", Polymer Science and Technology Group, Manchester Material Science Centre,United Kingdom **(2000).**

14- A.B.G.Schrauwen, L.E.Govaret and H.E.H. Meijer," Toughness of high-density polyethylene with hard filler particle ",Dutch of Polymer Institute, Material Technology, Department of Mechanical Engineering, Eindhoven University of Technology **(2000).**

15- J.Josshi,Richard L.Lehman,Tomas J.Nosker," Effect of shear rate and mixer residence times on morphology development and correlation to young's modulus in co-continuous Ps/PP blends ", Department of Ceramics and Materials Engineering Rutgers, The State University of NJ 607 Taylor Road , NJ -08854 1,U.S.A.**(2001).**

16- M.L.Auad, M.Proia, J.Borrajo,M.I.aranguren ," Rubber modified vinyl ester resins of different molecular weights ", Journal of Material Science,37,pp.4117-4126 **(2002).**

17- J.Saurina, J.J.Sunol,"Thermal Analysis of Aged HDPE based composites",J. of Thermal Analysis & Calorimetry **(2002).**

18- J.Biagiotti,S.Fiori, L.Torre, M.A.Lopez-Manchado, J.M.Kenny, " Mechanical Properties of Polyethylene Matrix Composites Reinforced with Natural fibers:Astatical Approach ",Material Engineering Centre, University of Perugia,Italy **(2002).**

19- J.Suwan prateerb, P.Trong Tong " Radiation enhanced modification of HDPE for medical applications ", Journal of material Science ,Materials in Medical 14,851-855**(2003).**

20- L. Domka, Andrzej Wasicki, Maciej Kozak," The microstructure and Mechanical properties of new HDPE- Chalk Composites," Physicochemical problems of mineral processing,37, pp.141-147 **(2003).**

- 21- Th. Lundin, Steven M.Cramer, Robert H.Flalk and Colin Felton, " Accelerated Weathering of Natural Fiber –filled Polyethylene Composites ", J. of mat.in Civil Eng., ASCE (2004).**
- 22- A. Boztu, H.B.Zengin, S.Basan, " Thermomechanical and thermogravimetric analysis of blends of poly (vinyl chloride)(PVC)with maleic anhydride-allyl propionate copolymer ",Department of Chemistry, Cumhuriyet University, 58140,Sivas,Turkey (2003).**
- 23- J.Yu ,J.Summers, A.Hiltner and Baer," Journal of Vinyl &Additive Technology,Vol.10,No.1 (2004).**
- 24-J.Josshi,Richard L.Lehman,Tomas J.Nosker," Mechanical grafting and morphology characterization in immiscible polymer blends "Proceeding of the Material Research Society (2004).**
- 25- Joy K.Mishra ,Keun joon Hwang, Chang Sik Ha," Preparation, Mechanical and Rheological Properties of Thermoplastic Polyolefin (TPO)/Organoclay nano composite with refrence to the effect of Maleic anhydride modified Polypropylene as a compatiblizer ",Polymer,46,(2005).**
- 26- A. Hassan and Barry Haworth," Impact properties of acrylate rubber modified PVC :Influence of Temperature ", Department of Polymer Engineering University of Teknologi Malaysia, Malaysia (2006).**
- 27- A. Hassan and Wong Yean Twn," Mechanical Properties of High impact ABS/PC blends – effect of blend Ratio ",Simposium Polimer Kebangsaan Ke-v, Hotel Residance (2005).**
- 28- C.T. Ratnam, Sabariah Kamaruddin, Yaganaidu Sivachalam, Marina Talib, Norzawani Yahya," Radiation crosslinking of rubber phase in poly(vinyl chloride)/epoxidized natural rubber blend: effect on Mechanical properties ",Malysia Institute for Nuclear Tecghnology Research(MINT),Bangi (2005).**
- 29- M.Tanniru, R.R,Thridandapani, S.Awate, Q.Yuan, R.D.K.Mirsa, "impact strength of clay Reinforced High desity Polyethylene ",Polymer nanocomposite TMS,The minerals,metals &Material Society (2006).**
- 30- S. Monanty," Mechanical & Rheological Characterization of treated Jute-HDPE Composites with different Morphology ",Journal of Reinforced Plastic and Composites,Vol.25,No.13 (2006).**

31- M. N. Radhaktishnan Nair and M.R. Gopinathan Nair , "Compatibility Studies and Characterisation of a PVC/NR Blend System using NR/PU Block Copolymer", Polymer Bulletin, 56,619-631 (2006).

32- M. H.G. Wichmann, Florian H. Gojny, Jan Sumfleth, Bodo Fiedler and Karl Schulte, "production and properties of glass fiber-reinforced polymer Composites with nanoparticles modified Epoxy Matrix ", Mater.Res.Soc.Symp.Proc.Vol.901E, Material Research Society (2006).

33- A. Gungor, " Mechanical Properties of Iron Powder filled HDPE Composites", Karabuk Technical education Faculty, Zonguldak Kraelemas University, Yuzuncu Yil, 78050 Karabuk, Turkey (2005).

34- J.-dong Zuo, Ya-min Zhu, Shu-meiliu, Zhi-jie Jiang, Jian-qing Zheo, "Preparation of HDPE /UHMWPE /MMWPE blends by two step processing way and properties of blown films ", Polymer Bulletin 58,pp.711-722 (2007).

35- S.Kanagaraj, Fatima R.Varanda, Titiana V.Zhil tsova, Monica S.A.Oliveira and Jose A.O.Simoes, " Mechanical Properties of High Density Polyethylene /Carbon nanotube Composites ", Department of Mechanical Engineering, University of Aveiro, 3810193 Aveiro, Portugal (2007).

36- د.كوريس عبد ال ادم ، د.ذنون محمد عزيز بيرادي، "كيمياء الجزيئات الكبيرة"، جامعة بغداد (1980).

37- الدكتور كوريس عبد ال ادم، الدكتور حسين علي كاشف الغطاء، "تكنولوجيا وكيمياء البوليمرات"، جامعة البصرة (1983).

38- اكرم عزيز محمد، "كيمياء اللدائن"، جامعة الموصل (1993).

39- F. W.Billmeyer ,JR "Text Book of Polymer Science" A wiley Interscience publication ,John Wiley & Sons Inc. printed in Singapore (1984).

40 - M. Al-Maamory, " Mechanical and Physical Properties of Rubber Composite", Ph.D. Thesis, Material Technology, University of Technology, Iraq (2006).

41.A.K.Bhargava, "Engineering Material, Polymer, Ceramic & Composites", Perntic e ,Hall of India ,New Delhi (2005).

42- Z. Gabbar A1-Asadee, " Addition of Some Natural Pigments as Colorants and Stabilizers Materials for Polymers" ,Ph.D. Thesis, College of Engineering, University of Babylon, Iraq (2007).

43- WWW.Plastic.com, 2005

44- **عبد الفتاح محمد ظاهر** "علم وتقنية البوليمرات" جامعة ام القرى ، مكة المكرمة(2000).

45-www.als.lbl.gov/als/compendium/AbstractManager/uploads/00105.pdf

46- **D. Hull** , "An Introduction to Composite Material",1st addition ,Cambridge University Press, (1981).

47- **J.C.J** , "Introduction" ,Additive in polymer ,Industrial Analysis and Application , John Wiley & Sons ,LTD, ISBN: 0-470-85062-0, (2005).

48- WWW.ACMC.COM .,1998

49- **W. Jiang, Doughong Yu and BingZheng Jiang** "Brittle – Ductile Transition of Particle Toughened Polymers: Influence of the Matrix Properties" from WWW.ScienceDirect.COM ,2002

50- **Fayt, R. , Hadji andreou ,P. &Teyssie ,P.,** J. of Polym. Sci. Polym. Chem.Ed.,23,337,(1985).

51- **R. M. Rowell**, "Advance and Challenges of Wood Polymer Composites", Proceedings of the 8 th Pacific Rim Bio –Based Composites Symposium.

52- www.pslc.ws/macrog/three.htm#sum ,2000.

53- **D. Roylance**," Introdtion to Composite Materials", Departmaent of Material Science & Engineering, Cambridge(2000).

54- **W.Bolton**, "Engineering Materials Technology "3th edition ,Oxford Boston Johansburg ,Printed and Bound in Great Britain,(1998).

55- WWW.ACMA.COM .,2004

56- **M.A.Meyers, K.K.Chewla**," Mechanical behavior of Materials" Prentice Hall,Inc (1999).

57- **ذوالفقار كريم مزعل** "تأثير تحفير الالياف على الخواص الميكانيكية للمواد المركبة الناتجة"،كلية الهندسة ،جامعة بابل (2006).

58- **N.G.Nccrum,C.P.Buckley, C.B.Bucknall**, "Principle of Polymer Engineering", 2nd edition, Oxford University Press Inc. Newyork(1997).

59- WWW.Thermoplastic.com, 2000

60- **F.C.Cambell** , " Manufacturing Processes For Advanced Composites",Elsevier Ltd (2004).

61- **S.D.El Wakil** , " Processes and Design for Manufacturing ", 2nd edition, PWS Publishing Company (1998).

62- www.farral.com ,2000

63- **الدكتور عادل محمد سويلم**، " اللدائن ماهيتها وانواعها وطرق تصنيعها وتشغيلها "، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، الطبعة الاولى ، القاهرة (1994).

64- ASTM International, Standard Test Method for Tensile property of Plastic.

65- I.M.Ward,"Mechanical Properties of Solid Polymers",2nd edition,Johm wiley & Sons Ltd (1974).

66- www.PTLI.Com .,2006

67- ASTM International, Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.

68- **S. Z.Elgun** , " Atomic Bonds " from WWW.Physical polymer.com (1999).

69- **Kalpakkian , Schmid** " Manufacturing Engineering and Technology ", Chapter2, Mechanical Behavior, Testing, and Manufacturing Properties of Materials,Prentice – Hall (2001).

70- **زيد عاصم اسماعيل الجبوري**، " دراسة الخواص الفيزيائية لخلائط بوليمرية مدعمة"،رسالة ماجستير –كلية العلوم –الجامعة المستنصرية (2004).

71- ASTM International, Standard Test Method for unnotched cantilever Beam impact resistance of Plastic.

قائمة الرموز والمختصرات

الرمز	معنى الرمز	وحدة القياس
A	مساحة	m ²
ASTM	الجمعية الامريكية للقياسات وفحص المواد	....
a	سمك الدعامة	mm
b	العرض	mm
d	سمك القرص لي	mm
d _s	سمك النموذج لقرص لي	mm
E	مرونة	N/m ²
EPDM	مطاط الاثيلين بوبلين دايبين	....
G	معامل الجساءة	N/m ²
g	التعجيل الارضي	m/s ²
HDPE	بولي اثيلين عالي الكثافة	....
I.S.	مقاومة الصدمة	J/m
I	عزم القصور الذاتي	m ⁴
I _c	التيار المار	Ampere
K	الموصلية الحرارية	W/m.°c
Lo	الطول الأصلي للنموذج	mm
ΔL	الاستطالة الحاصلة في النموذج	mm
MAH	حامض الماليك اللامائي	....
MFI	معامل الجريان	g/10 min
MMWPE	بولي اثيلين متوسط الوزن الجزيئي	....
MBS	مطاط المثيل اكريلك بيوتاديين ستايرين	....
NBR	مطاط الاكريلونتر ايل بيوتاديين	....
pp-g-MAH	البولي بروبلين المطعم الماليك اللامائي	....
P	حمل	N
PVC	بولي فنيل كلوريد	....
PE	بولي اثيلين	....
PP	بولي بروبلين	....
PS	بولي ستايرين	....
Q	كمية الحرارة	W/s

mm	نصف قطر النموذج لقرص لي	r
....	مجهر الماسح الالكتروني	SEM
mm	البعد بين نقطتي التحميل	S
....	المواد اللدنة الاوليفينية	TPO
°C	درجة الانتقال الزجاجية	Tg
°C	درجة الحرارة	T
°C	درجة حرارة الاقراص	T _A , T _B , T _C
Min.	الزمن	t
....	المواد المرنة اللدنة بالحرارة	TPE
....	الاشعة فوق البنفسجية	UV
....	بولي اثلين عالي الوزن الجزيئي جدا	UHMWPE
Volt	الفولتية المجهزة	V
.....	كسر وزني	V _w
....	كسر حجمي	V _f

الرموز الاغريقية :

N/m ²	اجهاد	σ
.....	انفعال	ε
N/m ²	اجهاد القص	τ
.....	انفعال القص	γ

قائمة المصطلحات

المصطلح	معناه
Aspect ratio	النسبة الباعية
Anisotropic	غير متماثل الخواص
Amorphous	عشوائي
Blends	الخلاط
Brittle	هش
Bidirectional	ذات اتجاهين
Composite materials	المواد المركبة أو المترابطة
Comopolymer	البوليمرات المطعمة
Cross linking	درجة التشابك
Crytallinity	التبلور
Compatibility	التوافقية
Coupling agents	عوامل ربط
Degradation	عملية الانحلال
Deformed form	حالة مشوه
die	قالب
Fracture	كسر
Fibers	الالياف
Fillers	المالئات
Flakes	القشور
Homopolymer	البوليمرات المتجانسة
isotropic	متناثل الخواص
Iso-strain	تساوي الانفعال
Iso-stress	تساوي الاجهاد
Laminates	طبقات
Lime Stone	حجر الكلس
Matrix	المادة الاساس
Marble process	طريقة تصنيع الياف الزجاج
mold	قالب
Microscopic	المستوى المجهرى
Macroscopic	المستوى العيانى
Mat	حصيرة

الاختراق	Penetration
الدقائق	Particles
فصل الاطوار	Phase separation
عملية البلمرة	Polymerization
مسحوق القولبة	Powder molding
كوارتز	quartz
البلاستيك المقوى	Reinforced plastic
الحالة المطاطية	Rubbery
قاعدة الخلط	Rule of mixture
مواد التقوية	Reinforcement
اجهاد قصي	Shear stress
تليين	softening
بريمة	Screw
جسأ	Stiff
الغزل المبروم	twist yarn
تحميل عرضي	Transverse Loading
اختبار ثلاثي النقاط	Three Points Bending
اللزوجة المرنة	Viscoelastic
شعيرة	Whiskers
ظفائر محاكاة	Woven Roving
نقطة خضوع	Yield point