جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة القادسية
كلية التربية – قسم الفيزياء

دراسة تأثير الأتجاه والكسور الحجمية ودرجة الحرارة على خاصية متانة الانحناء لصفائح بوليميرية مدعمة بالألياف الزجاجية

رسالة ماجستير قدمها الطالب

عبدالرحمن راشد محمد راشد

إلـى

قسم الفيزياء / مجلس كلية التربية – جامعة القادسية

وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء

إشراف

الأستاذ المساعد الدكتور

هشام محمد علي حسن البيرماني

1440 هـ

2019 م

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ اللَّهُ نُورُ السَّمَاوَاتِ وَالأَرْضِ مَثَلُ نُورِهِ كَمِشْكَوٰةٍ فِيهَا مِصْبَاحٌ الْمِصْبَاحُ فِي زُجَاجَةٍ الزُّجَاجَةُ كَأَنها كَوْكَبٌ دُرِّيٌّ يُوقَدُ مِن شَجَرَةٍ مُّبَارَكَةٍ زَيْتُونِةٍ لَّا شَرْقِيَّةٍ وَلَا غَرْبِيَّةٍ يَكَادُ زَيْتُهَا يُضِيءُ وَلَو لَمْ تَمْسَسْهُ نَارٌ نور عَلَى نُورٍ يَهْدِي اللَّهُ لِنُورِهِ مَن يَشَاءُ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الأَمْثَالَ لِلنَّاسِ وَاللَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ﴾

سورة النور، آية (35)

صدق الله العلي العظيم

سورة النور مدنية عدد آياتها (64) اية

إقرار المشرف

أشهد أن إعداد هذه الرسالة الموسومة بـ (دراسة تأثير الاتجاه والكسور الحجمية ودرجة الحرارة على خاصية متانة الأنحناء لصفائح بوليمرية مدعمة بالألياف الزجاجية) للطالب (عبدالرحمن راشد محمد) قد تمت تحت اشرافي في قسم الفيزياء/ كلية التربية/ جامعة القادسية، وهي جزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير في (علوم الفيزياء).

التوقيع :

الاسم : د. هشام محمد علي حسن

المرتبة العلمية : استاذ مساعد

التاريخ : / / 2019

توصية رئيس قسم الفيزياء

بناءً على التوصية المقدمة من الأستاذ المشرف أُحيلت هذه الرسالة إلى لجنة المناقشة لدراستها وبيان الرأي فيها

التوقيع :

الاسم : د. سليم عزاره حسين

المرتبة العلمية : أستاذ مساعد

التاريخ : 17 / / 2019

جامعة القادسية
قسم
الفيزياء
كلية التربية

اقرار لجنة المناقشة

نشهد نحن اعضاء لجنة المناقشة باننا اطلعنا على الرسالة الموسومة (دراسة تأثير الاتجاه والكسور الحجمية ودرجة الحرارة على خاصية متانة الانحناء لصفائح بوليميرية مدعمة بالألياف الزجاجية) المقدمة من قبل الطالب (عبدالرحمن راشد محمد) في قسم الفيزياء وقد ناقشنا الطالب في محتوياتها وفيما له علاقة بها وذلك بتاريخ 14/ 3/ 2019 وهي جديرة بالقبول لنيل شهادة (الماجستير) في (الفيزياء) وبدرجة (جيد جدا) .

رئيس اللجنة

التوقيع

الاسم : عبدالعزيز عبيد موسى

المرتبة العلمية : استاذ

العنوان : جامعة بابل / كلية العلوم

التاريخ : / / 2019

عضو اللجنة

التوقيع

الاسم : سليم عزاره حسين

المرتبة العلمية : استاذ مساعد

العنوان : جامعة القادسية /كلية التربية

التاريخ : / / 2019/

عضو اللجنة

التوقيع

الاسم : ازهر عبد الوهاب حبيب

المرتبة العلمية: استاذ مساعد

العنوان: جامعة الكوفة / كلية العلوم

التاريخ : / / 2019

عضو اللجنة (مشرفا)

التوقيع

الاسم : هشام محمد علي حسن

المرتبة العلمية :استاذ مساعد

العنوان :جامعة القادسية/كلية الحاسوب وتكنولوجيا المعلومات

التاريخ: / / 2019/

مصادقة عمادة كلية التربية

اصادق على ما جاء بقرار اللجنة اعلاه

التوقيع

السيد عميد كلية التربية : الاستاذ الدكتور خالد جواد العادلي

التاريخ : /25/ 4 / 2019

إقرار المقوم اللغوي

أشهد أنَّ هذه الرسالة الموسومة بـ (**دراسة تأثير الأتجاه والكسور الحجمية ودرجة الحرارة على خاصية متانة الانحناء لصفائح بوليمرية مدعمة بالألياف الزجاجية**) قد راجعتها لغوياً ؛ ولأجلها وقعت.

التوقيع :

اسم المقوم اللغوي : د. إحسان فؤاد عباس .

المرتبة العلمية : أستاذ مساعد .

التاريخ : 28 / 1 / 2019

الإهداء

أُهدي ثمرة جهدي بعد حمدي وشكري

إلى من ملكني ما لم أملك ..... الله ... نور السموات والأرض

إلى الذكرى الطيبة التي ملأت قلبي ألما لفراقها ..... أبي رحمه الله

إلى نبع المحبة والحنان ...والدتي

إلى من ترفرف قلوبهم كالعصافير لفرحتي ...أخوتي – زوجتي – أطفالي.

إلى من هداني وعلمني منذ بدايتي ...أساتذتي الأفاضل.

إلى كل من أراد لي الخير وكل من يفرحه نجاحي وإلى كل من مدني بالمساعدة.

والى الذين زاروا حياتي ليتركوا بصمة حب ونبضة قلب وبالأخص الزميل مصطفى جواد.

أهدي ثمرة جهدي المتواضع هذا..

عبدالرحمن

شكر وتقدير

الحمد لله الواحد القهار، العزيز الغفار، الذي لا تخفى عليه الأسرار، ولا تدركه الأبصار، اللهم اجعل أول أعمالي فلاحاً، وآخرها نجاحاً، اللهم أخرجني من ظلمات الوهم وأكرمني بنور الفهم، والحمد لله الذي وهبنا عقلاً لنذّكر، وعيناً ونوراً نسير على هديه، وعلّمنا مالا نعلم، والصلاة والسلام على خير الأولين والآخرين رسول الله محمد (ص)، والحمد لله على تمام نعمته والصلاة والسلام على خير صفوته وبعد:

الحمد لله الذي أعانني على إتمام هذه الرسالة، وليطيب لي وأنا أخط الأسطر الأخيرة منها أن أتوجه بالشكر والتقدير إلى كل من أسهم في إخراجها إلى حيز الوجود بأجمل صورة منذ أن كانت فكرة، حتى أصبحت حقيقة واقعة.

إن واجب الأمانة والوفاء يدعوني أن أتقدم بوافر الشكر والتقدير والاحترام إلى مشرفي الدكتور هشام محمد علي حسن، الذي قدم لي كل ما هو مستطاع فجزاه الله عني خيراً.

كما أتقدم بالشكر والامتنان عرفاناً بالجميل إلى جامعة القادسية – عمادة كلية التربية – قسم الفيزياء، لمنحي هذه الفرصة العلمية، والى جميع أساتذتي المحترمين في قسم الفيزياء الذين آزروني وأفاضوا علي من عطفهم الأبوي وبالأخص منهم الدكتور سليم عزاره حسين والدكتور عبدالحسين عباس خضير.

وشكر وعرفان إلى الجامعة التكنولوجية – كليه الهندسة – قسم هندسة المواد، وأخص بالذكر الأستاذ الدكتور جواد كاظم عليوي؛ لما قدموه لي من مساعدة في إجراء الفحوصات الميكانيكية.

وشكر وعرفان إلى الدكتور مهند مهدي عبد/ الجامعة المستنصرية. وشكراً آخر أقدم إلى جامعة ذي قار كلية العلوم؛ لما قدموه من مساعدة في المختبر وتسهيل مهمتي، وأخص منهم بالذكر الدكتور جبار ماضي راشد، والدكتور عماد عبد الرزاق. وأيضا أتقدم بالشكر الجزيل الى المعهد الفني في الناصرية والى اساتذة قسم الميكانيك وبالاخص الاستاذ نجاح رستم ومن قدم لي الدعم ومن سهل مهمتي في اتمام بحثي ،فلهم مني كل التقدير والاحترام .

الخلاصة

هذا البحث يهدف إلى دراسة سلوك متانة الانحناء لمادتي الايبوكسي والبولي استر (كمادة أساس) والمدعمان بطبقات من الألياف الزجاجية وبكسور وزنية (25% ,12%)، حيث تم تحضير هذه المواد المدعمة بطريقة القولبة اليدوية وفق نظام طبائقي مكون من صفيحة احادية الاتجاه (unidirectional) وصفيحة متناظرة وغير متناظرة (Symmetric Laminate Symmetric and Un–) بزوايا مختلفة وهي $[0^\circ]_6$, $[45^\circ]_6$, $[90^\circ]_6$ $[90^\circ, 45^\circ, 0^\circ]_s$ ودراسة نظام طبائقي آخر مكون من زوايا من ثلاث طبقات وهي$[0^\circ]_3$, $[45^\circ]_3$, $[90^\circ]_3$ ، $[90^\circ, 45^\circ, 0^\circ]$ وتمت المقارنة بين النظامين حيث اظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من فحص متانة الانحناء ذي الثلاث نقاط زيادة متانة الانحناء لزوايا احادية الاتجاه $[0^\circ]_6$, $[0^\circ]_3$ حيث اعطت هذه الزاوية اعلى قيم لمتانة الانحناء في درجات الحرارة $°C$ (25 ,50 ,100 ,125) جميعها .

أما الزاويا $[90^\circ]_3$, $[90^\circ]_6$, $[45^\circ]_3$, $[45^\circ]_6$فأعطت قيم اقل بكثير من الزاويا $[0^\circ]_3$, $[0^\circ]_6$ لان القيم تبدأ بالانحدار الشديد عندما تكون الزاوية أعلى من $[8^\circ]$ وعند معالجة العينات حراريا (*Post curing*) وجد انه عند زيادة درجة الحرارة تزداد متانة الانحناء لعينات الايبوكسي الألياف الزجاجية جميعها لان مادة الايبوكسي المدعمة بالألياف الزجاجية تظهر سلوكا مطيليا .وعند ارتفاع درجة الحرارة على عينات البولي استر الياف زجاجية على عكس عينات الايبوكسي الياف زجاجية فان متانة الانحناء تقل لأنَ المادة المدعمة تظهر سلوكا هشا وعند مقارنة النظام الطبائقي لست طبقات مع ثلاث طبقات وجد أن المتانة تزداد قليلا مع زيادة الطبقات في العينات جميعها .وفي جميع درجات الحرارة .

الفهرست	الموضوع	رقم الصفحة
I	الخلاصة	I
II	الفهرست	II
III	قائمة الرموز	III
I V	قائمة الاشكال	I V
V	قائمة الجداول	V
	الفصل الأول – المقدمة والدراسات السابقة	1
1-1	المقدمة	1
1 – 2	البوليمرات	2
1 – 3	تحضير البوليمرات	3
1-4	تصنيف البوليمرات	3
1-4-1	تصنيف البوليمرات بالاعتماد على مصادرها	3
1-4-2	تصنيف البوليمرات بالاعتماد على تركيب البوليمر	4
1-4-3	تصنف البوليمرات بالاعتماد على الشكل الهندسي	5
1-4-4	تصنف البوليمرات بالاعتماد على الخواص التقنية والتكنولوجية	6
1-5	راتنج البولي استر	10
1-5-1	استعمالات البولي استرات غير المشبعة	11
1-6	راتنج الايبوكسي	12
1-7	الدراسات السابقة	14
1-8	الهدف من البحث	17
	الفصل- الثاني -الجانب النظري	18
2-1	المواد المتراكبة	18
2-2	مكونات المادة المتراكبة	18
2-2-1	مادة الاساس	18
2-2-2	مواد التدعيم	19
2-2-3	السطح البيني وقوة التلاصق	20
2-3	تصنيف المواد المتراكبة	21
2-3-1	تصنيف المواد المتراكبة بالاعتماد على مادة الاساس	21
2-3-2	تصنيف المواد المتراكبة بالاعتماد على مواد التدعيم	23
2- 4	الرقاقات	24
2-5	الصفائح الطبقية	25
2-6	الميكانيك الماكروي	26
2-6-1	تركيب الصفيحة	26
2-6-2	نظام وصف الصفيحة	26
2-6-3	تصنيف الصفائح	27
2-7	السلوك الميكانيكي العام لصفيحة طبقية	28
2-8	الاجهادات ما بين الطبقات	29
2-9	تحليل الاجهادات الميكانيكية والحرارية	29

10-2	الخصائص الميكانيكية	30
1-10-2	الاجهاد الانفعال	31
2-10-2	اختبار الانحناء	34
11-2	ميزات المتانة	36
12-2	تأثير الحرارة على المواد المتراكبة	37
13-2	درجة الانتقال الزجاجي	37
14-2	العيوب الهيكلية للمواد المتراكبة	38
15-2	الكسر	38
1-15-2	الكسر الهش	39
2-15-2	الكسر المطيلي	39
16-2	العوامل الهندسية المؤثرة على التقوية بالألياف والدقائق	40
1-16-2	الكسر الحجمي	40
2-16-2	طول الليف الفعال	41
3-16-2	اتجاه الالياف	41
4-16-2	نسبة طول الليف الى قطره	42
	الفصل الثالث الجانب العملي	44
1-3	الجانب العملي	44
2-3	المواد المستعملة في البحث	44
1-2-3	مادة الاساس	44
2-2-3	مادة التدعيم	46
3-3	تحضير العينات	46
3- 3-1	تهيئة القوالب	46
2-3-3	عمل العينات	47
4-3	الاجهزة المستعملة	50
1-4-3	جهاز اختبار الانحناء	51
	الفصل الرابع النتائج والمناقشة	54
1-4	المقدمة	54
2-4	تأثير درجة الحرارة على المتانة لعينات البولستر ألياف زجاجية لـ3 طبقات	54
3-4	تأثير درجة الحرارة على المتانة لعينات البولستر ألياف زجاجية ل6 طبقات	55
4-4	تأثير درجة الحرارة على المتانة لعينات الابوكسي ألياف زجاجية لـ3 طبقات	57
5-4	تأثير درجة الحرارة على المتانة لعينات البولستر ألياف زجاجية لـ6 طبقات	58
6-4	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عندما تكون الزاوية (0°) للبولي استر الياف زجاجية	59
7-4	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عندما تكون	60

	الزاوية (45°) للبولي استر الياف زجاجية	
8-4	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عندما تكون الزاوية (90°) للبولي استر الياف زجاجية	61
9-4	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عندما تكون الزاوية ($90^{\circ}.45^{\circ}.0^{\circ}$) للبولي استر الياف زجاجية	62
10-4	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عندما تكون الزاوية (0°) الايبوكسي الياف زجاجية	63
11-4	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عندما تكون الزاوية (45°) الايبوكسي الياف زجاجية	64
12-4	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عندما تكون الزاوية (90°) الايبوكسي الياف زجاجية	65
13-4	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عندما تكون الزاوية ($90^{o}45^{o}0^{o}$) الايبوكسي الياف زجاجية	66
14-4	تأثير اتجاه الزوايا لـ6 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة($c^{o}25$) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية .	67
15-4	تأثير اتجاه الزوايا لـ6 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة($50c^{o}$) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية .	68
16-4	تأثير اتجاه الزوايا لـ6 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة($100c^{o}$) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية .	69
17-4	تأثير اتجاه الزوايا لـ6 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة($125c^{o}$) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية	70
18-4	المقارنة بين المتانة واتجاه الزاوية لعينات البولي استر الايبوكسي الياف زجاجية لثلاث طبقات عند درجة الحرارة (25° C)	71
19-4	المقارنة بين المتانة واتجاه الزاوية لعينات البولي استر الايبوكسي الياف زجاجية لثلاث طبقات عند C (50°) .	72

20-4	المقارنة بين المتانة واتجاه الزاوية لعينات البولي استر الايبوكسي الياف زجاجية لثلاث طبقات عند درجة الحرارة $(100^{\circ}C)$	73
21-4	المقارنة بين المتانة واتجاه الزاوية لعينات البولي استر الايبوكسي الياف زجاجية لثلاث طبقات عند درجة الحرارة $(125^{\circ}C)$	74
22-4	نتائج ومناقشة اختبار متانة الانحناء	75
	المصادر	78

قائمة الرموز

الرمز	التعريف	الوحدات
T_g	درجة الانتقال الزجاجي.	$°C$
T_i	درجة الحرارة الابتدائية	$°C$
δ	الاجهاد	N/m^2
F	القوة	N
A	المساحة	mm^2
ϵ	الانفعال	%
L_0	الطول الابتدائي	mm
$F.S$	متانة الانحناء	N/mm^2 (Mpa)
b	عرض العينة	mm
d	سمك العينة	mm
m	ميل الجزء الخطي	N/mm
ψ	الكسر الوزني	%
w_f	وزن الالياف	g
w_c	وزن المادة المتراكبة	g
L_c	طول الليف الحرج	mm
d	قطر الليف	mm
τ_c	اجهاد القص بموازاة الليف	N/mm^2
L	المسافة بين نقطتي التحميل	mm
E	معامل مرونة الانحناء	N/mm^2
GF	الالياف الزجاجية	Glass Fiber
UP	البولي استر	Polyester
EP	الايبوكسي	Epoxy

قائمة الاشكال

التسلسل	عنوان الشكل	الصفحة
1-1	أنواع السلاسل البوليمرية بالاعتماد على تجانسها a- البوليمر المتجانس, b- بوليميرغير متجانس , c- بوليمر مشترك مقولب d- بوليمر مطعم	5
2-1	أنواع السلاسل البوليمرية بالاعتماد على شكلها الهندسي	6
3-1	التركيب الكيميائي لراتنج البولي استر غير المشبع	10
4-1	آلية حدوث التصلب في البولي استر غير المشبع	11
5-1	مجموعة الاوكسيران	12
6-1	التركيب الكيميائي لراتنج الايبوكسي	12
7-1	عملية تآصر راتنج الايبوكسي	13
1-2	مواد التدعيم المختلفة والهجينة	19
2-2	اهم انواع ميكانيكيات الربط	21
3-2	نمطان رئيسيان للرقاقة	25
4-2	منظر لبناء الصفيحة الطبقية بدون التصاق الرقاقات	26
5-2	يوضح نوعي الانفعال	32
6-2	يوضح منحنيات (الاجهاد – الانفعال) لبعض الاصناف البوليميرية	33
7-2	عينة اختبار الانحناء ثلاثي النقط	35
8-2	الكسر الهش	39
9 -2	الكسر المطيلي	40
10-2	يوضح اختلاف قيم الجساءة النسبية (Relative Stiffness) مع اختلاف	

	الزاوية بين الالياف والحمل المسلط على مادة متراكبة مدعمة بحصيرة الياف احادية الاتجاه (Unidirectional) واخرى ثنائية المحور (Biaxial)	42
1-3	القالب المستخدم في تصنيع العينات	47
2-3	يوضح ألياف زجاجية أحادية الاتجاه	49
3-3	الفرن المستخدم لتلدين العينات	50
4-3	العينة في جهاز اختبار متانة الانحناء	51
5-3	صور فوتوغرافية لعينات الانحناء قبل الكسر	52
6-3	صور فوتوغرافية لعينات الانحناء بعد الكسر	52
7-3	اتجاه الليف باتجاه طول العينة الزاوية °0	53
1-4	تأثير درجة الحرارة والزوايا على المتانة لعينات البولي استر ألياف زجاجية لثلاث طبقات	54
2-4	تأثير درجة الحرارة والزوايا على المتانة لعينات البولي استر الياف زجاجية لست طبقات	55
3-4	تأثير درجة الحرارة والزوايا على المتانة لعينات الايبوكسي الياف زجاجية لثلاث طبقات	57
4-4	تأثير درجة الحرارة والزوايا على المتانة لعينات الايبوكسي الياف زجاجية لست طبقات	58
5-4	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية (0°) لعينات البولي استر ألياف زجاجية	59
6-4	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية (45^{0}) لعينات البولي استر الياف زجاجية	60
7-4	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية (90^{0}) لعينات البولي استر الياف زجاجية	61

8-4	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية (0^0 . 45^0 . 90^0) لعينات البولي الياف زجاجية	62
9-4	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية (0^0) لعينات الايبوكسي الياف زجاجية	63
10-4	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية (45^0) لعينات الايبوكسي الياف زجاجية	64
11-4	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية (90^0) لعينات الايبوكسي الياف زجاجية	65
12-4	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية (0^0 . 45^0 . 90^0) لعينات الايبوكسي الياف زجاجية	66
13-4	تأثير اتجاه الزوايا لـ 6 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (25^0 C) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية	67
14-4	تأثير اتجاه الزوايا لـ 6 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (50^0 C) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية	68
15-4	تأثير اتجاه الزوايا لـ 6 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (100^0 C) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية	69
16-4	تأثير اتجاه الزوايا لـ 6 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (125^0 C) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية	70
17-4	تغيير متانة الانحناء مع تغير الزاوية لـ3 طبقات من البولستر ألياف زجاجية والايبوكسي ألياف زجاجية عند 25 درجة مئوية	71
18-4	تغيير متانة الانحناء مع تغير الزاوية لـ3 طبقات من البولستر ألياف زجاجية والايبوكسي ألياف زجاجية عند 50 درجة مئوية	72
19-4	تغيير متانة الانحناء مع تغير الزاوية لـ3 طبقات من البولستر ألياف زجاجية والايبوكسي ألياف زجاجية عند 100 درجة مئوية	73

20-4	تغيير متانة الانحناء مع تغير الزاوية لـ3 طبقات من البولستر ألياف زجاجية والايبوكسي ألياف زجاجية عند 125 درجة مئوية	74

التسلسل	عنوان الجدول	الصفحة
1-1	يبين أهم أنواع ألياف الزجاج ونسب مكوناتها	9
1-3	خصائص راتنج البولي استر غير المشبع	45
2-3	يبين الخصائص الميكانيكية للايبوكسي من الشركة المصنعة	46
1	قيم متانة الانحناء (F.S) لجميع العينات عند درجات حرارية مختلفة لعينات البولي استر الياف زجاجية لثلاث طبقات	55
2	قيم متانة الانحناء (F.S) لجميع العينات عند درجات حرارية مختلفة لعينات البولي استر الياف زجاجية لست طبقات	56
3	قيم متانة الانحناء (F.S) لجميع العينات عند درجات حرارية مختلفة لعينات الايبوكسي الياف زجاجية لثلاث طبقات	56
4	قيم متانة الانحناء (F.S) لجميع العينات عند درجات حرارية مختلفة لعينات الايبوكسي الياف زجاجية ست طبقات	57
5	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للزاوية 0^0 لعينات البولي استر الياف زجاجية	59
6	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للزاوية 45^0 لعينات البولي استر الياف زجاجية	60
7	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للزاوية 90^0 لعينات البولي استر الياف زجاجية	61
8	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للزاوية $0^0 . 45^0 . 90^0$ لعينات البولي استر الياف زجاجية	62
9	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للزاوية 0^0 لعينات الايبوكسي الياف زجاجية	64
10	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للزاوية 45^0 لعينات الايبوكسي الياف زجاجية	65
11	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للزاوية 90^0 لعينات الايبوكسي الياف زجاجية	66
12	تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للزاوية $0^0 . 45^0 . 90^0$ لعينات الايبوكسي الياف زجاجية	67
13	يبين تأثير اتجاه الزوايا لـ (6) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (25^0C)	68
14	يبين تأثير اتجاه الزوايا لـ (6) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (50^0C)	69
15	يبين تأثير اتجاه الزوايا لـ (6) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (100^0C)	70
16	يبين تأثير اتجاه الزوايا لـ (6) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (125^0C)	71
17	يبين تأثير اتجاه الزاوية لـ (3) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (25^0C)	71
18	يبين تأثير اتجاه الزاوية لـ (3) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (50^0C)	72
19	يبين تأثير اتجاه الزاوية لـ (3) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (100^0C)	73
20	يبين تأثير اتجاه الزاوية لـ (3) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (125^0C)	74

الفصل الأول

المقدمة والدراسات السابقة

الفصل الأول

1-1المقدمة : (Introduction)

ازدادت الأهمية الصناعية والعلمية لعلم البوليمرات بصورة كبيرة في أواخر القرن الماضي، وقد قدّرت الإحصاءات العالمية أن أكثر من 20% من المهندسين و40% من العلماء يعملون في مجالات الصناعات البلاستيكية وتقنياتها[1].

تمتلك المواد البوليمرية مزايا خاصة لا يمتلكها غيرها من المواد (المعدنية والسيراميكية) منها خفة وزنها، وسهولة إنتاجها، ورخص ثمنها، وانخفاض كثافتها، ومتانتها العالية، كما أنها لا تصدأ ولا تتأكل[2].

كثير من التكنولوجيا والصناعات الحديثة تحتاج إلى مواد لها مزيج من الخواص (متانة/وزن) التي لا يمكن وجودها في المواد التقليدية مثل سبائك المعادن والسيراميك والمواد البوليمرية، لذلك تم إنتاج المواد المتراكبة [3].

إنّ المواد المتراكبة ربما تتشكل لاستثمار الخصائص الفريدة لبعض المواد، ولإعطاء مزيج غير اعتيادي من حيث الخصائص مثل (الجساءة والمقاومة والأداء عند درجات الحرارة العالية ومقاومة التآكل والصلادة والتوصيلية) [4].

تعد المواد المتراكبة ذات الأساس البوليمري من أكثر أنواع المواد المتراكبة شيوعاً؛ لما تمتاز به من صفات فيزيائية وميكانيكية عالية [5]، ومن أهم متطلبات استعمال هذه المواد المتانة الجيدة والأداء العالي ومقاومتها للإجهادات الداخلية والخارجية المؤثرة عليها، فضلاً عن ذلك مقاومتها للظروف البيئية المحيطة بها من درجة حرارة ورطوبة وضغط وغيرها، مع امتلاك هذه المواد مقاومة كلال أفضل من المعادن الهندسية التقليدية، وكذلك جساءة ومتانة عاليتين[6].

وفي سنة (1960) بدأت الحاجة لظهور مادة تمتلك مواصفات خفة الوزن والجساءة والمقاومة العالية في الوقت نفسه، كما في مجال الفضاء والنقل للحصول على مثل هذه المواد إذ يتطلب ذلك بذل جهد في البحث بصورة واسعة في مجال المواد المركبة عن طريق دراسة خواص المواد ومعرفة مدى ترابطها مع بعضها ونسب إضافتها، وهذا بدوره أدى إلى ظهور أنواع من المواد المتراكبة، إذ

تعد المواد البوليمرية المركبة من أفضل الأنواع؛ لما تتمتع به من صفات ميكانيكية عالية نسبة إلى الكثافة، فضلاً عن سهولة تصنيعها[7].

نالت المواد المتراكبة –على اختلاف أنواعها– مكانة متقدمة في التطبيقات الصناعية منذ أول ظهور لها، وتمتلك المواد المتراكبة البوليمرية أهمية خاصة في الكثير من التطبيقات الصناعية اعتماداً على مادة الأساس ومواد التدعيم.

2-1 البوليمرات :(Polymers)

وهي كلمة لاتينية الأصل مكونة من مقطعين (poly) معناه متعدد، و(mers) معناه الوحدات، فتعني متعدد الوحدات، وهي عبارة عن مركبات كيميائية عملاقة متكونة من عدد كبير من الوحدات البنائية الصغيرة التي ترتبط بعضها مع بعض بأواصر كيميائية لتكوين سلاسل جزيئية طويلة، وتدعى عناصر هذه السلاسل للوحدات المتكررة بالمونيمر (monomer) الذي يمثل الوحدة الأساسية لبناء البوليمر(polymer) مثل البولي اثيلين الذى يتكون من الوحدة البنائية (الاثلين)، وترتبط هذه الوحدات الصغيرة بعضها مع بعض بأواصر تساهمية (covalent bonds) وأواصر ثانوية (secondary bonds) والمتمثلة بآصرة فاندرفالز (Vander Wall's[8]، مكونة بذلك سلاسل بوليمرية طويلة ذات أشكال مختلفة، منها المتفرعة (branched) والمتشابكة (cross–linked) والخطية (Linear) وغيرها، ويمكن تحديد طول السلسلة البوليمرية من خلال عدد الوحدات البنائية الداخلة في تكوين السلسلة وهذا يحدد الخواص الفيزيائية للبوليمر، إذ كلما كانت السلسلة طويلة كان البوليمر أقوى، وهذا ما يدعى بدرجة البلمرة (degree of polymerization)، [9].

إن أهم عيوب المواد البوليمرية هي قلة تحملها للقوى والحرارة، وعدم استقرار أبعادها مدة طويلة، وتدهور خواصها عند تعرضها للظروف الجوية، ويعزى ذلك إلى تكسر الأواصر الثانوية بصورة بطيئة فتصبح أكثر هشاشة، ويمكن السيطرة على هذا التأثير باستخدام بعض الإضافات المهمة مثل المواد المزيتية، والمواد المخففة، والمواد الملونة [10].

3.1 تحضير البوليمرات: (Polymers Preparation)

البلمرة وهي العملية التي تربط بها الجزيئات الصغيرة مع بعضها لتكوين الجزيئات البوليمرية الكبيرة، وقد تنتج فيها البوليمرات ذات سلاسل خطية أو متفرعة أو متشابكتة اعتماداً على المونمرات في تركيبها، وتصنف تفاعلات البلمرة إلى تفاعل إضافة (Addition) وتكثيف (Condensation) واستناداً إلى هذا التعريف فإن الأول يتألف من تفاعلات إضافة للوحدات بعضها لبعض بصورة متعاقبة وبدون نواتج عرضية، بينما النوع الثاني من تفاعلات التكثيف المتعاقبة تكون مصحوبة بنواتج عرضية [11] , [12] , [13] .

1-4 تصنيف البوليمرات: (polymers Classification)

يمكن تصنيف البوليمرات بالاعتماد على عوامل عدة:

1-4-1 تصنف البوليمرات بالاعتماد على مصادرها إلى صنفين:

أ-البوليمرات الطبيعية: (Natural Polymers)

هي منتجات طبيعية نباتية أو حيوانية كالسليلوز والمطاط وغيرها وتكون غالية الثمن ويصعب الحصول عليها، وهنالك ثلاثة أنواع من البوليمرات الطبيعية هي [14]

1. البولي نيوكليونيدات
2. البولي سكريات
3. البروتينات

ب- البوليمرات الصناعية: (Synthetic Polymer)

هي الغالبية العظمى من البوليمرات المهمة صناعياً، تحضر من مركبات كيميائية بسيطة وتضم البلاستيكيات والألياف الصناعية والأصماغ وغيرها. وايضا توجد البوليمرات الطبيعية التي تجري عليها بعض التعديلات كتغير في تركيبها الكيميائي بوساطة إدخال مجاميع جديدة في البوليمر، أو تغير تركيب بعض المجاميع الفعالة الموجودة فيها، أو بتطعيم بوليمر طبيعي على آخر صناعي والعكس صحيح، ومن أمثلة هذا النوع القطن المطعم بألياف الاكريليك و خلات السليلوز واسترات السليلوز[14] .

1 -4 -2 تصنيف البوليمرات بالاعتماد على تركيب البوليمر :

أ- **البوليمرات المتجانسة: (HomoPolymer)** إذا كانت جميع الوحدات المتكررة (Repeating Unit) في السلسلة البوليمرية من النوع نفسه فإن البوليمر الناتج هو بوليمر متجانس كما في الشكل (1-1) [15].

ب-البوليمرات غير المتجانسة :(Co-Polymer)

إذا كانت السلسلة البوليمرية تتضمن نوعين أو أكثر من الوحدات المتكررة عندها يكون البوليمر غير متجانس [15].

ويمكن تصنيف البوليمرات غير المتجانسه الى:-

أ - البوليمرات المشتركة العشوائية :(Random copolymers)

تكون الوحدات التركيبية في هذا الصنف موزعة في سلسلة بشكل عشوائي، ويعد هذا الصنف من أهم الأصناف من الناحية الصناعية؛ لسهولة تحضيرها ولخصائصها المرغوبة[16].

ب - البوليمرات المشتركة المتناوبة : (Alternative copolymers)

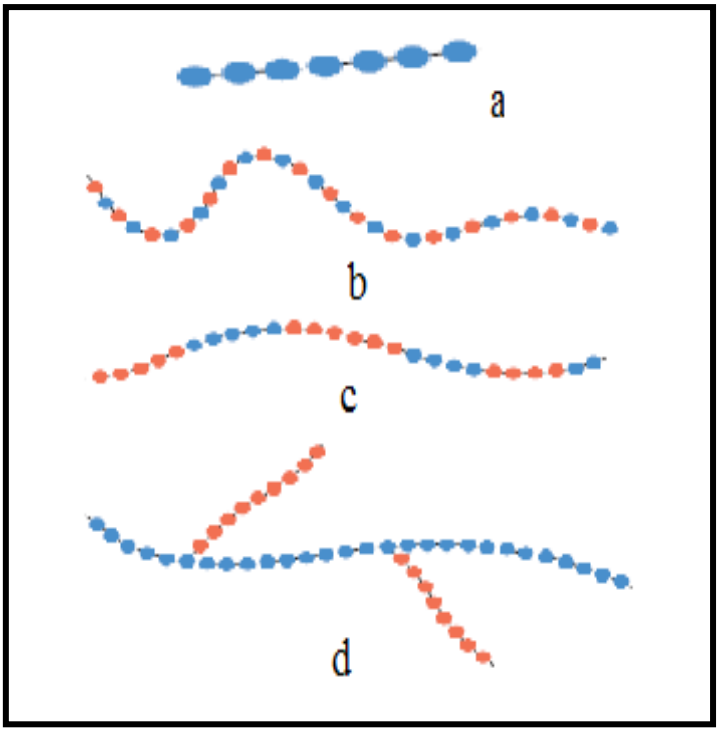
في هذا النوع تتناوب الوحدات التركيبية المختلفة في السلسلة البوليمرية [15] كما في الشكل (1-1).

جـ - البوليمرات المشتركة القولبية :(Blok Co-Polymers)

إذا كانت الوحدات المتكررة للسلسلة البوليمرية مرتبة على هيأة قوالب "block"، إذ إن قالب المونومر الأول يرتبط إلى قالب المونومر الثاني وهكذا وعندها يسمى بالبوليمر القولبي[15] كما في الشكل (1-1).

د - البوليمرات المطعمة : (Graft-copolymers)

إذا كانت الوحدات المتكررة للسلسلة البوليمرية الرئيسة من نوع والفروع الجانبية للسلسلة من نوع آخر من الوحدات عندها يسمى بالبوليمير المطعم [17] كما في الشكل (1-1).



الشكل (1-1) أنواع السلاسل البوليمرية بالاعتماد على تجانسها[14].

a- البوليمر المتجانس b - بوليميرغير متجانس ,c- بوليمر مشترك مقولب d-بوليمر مطعم

1-4-3 تصنيف البوليمرات بالاعتماد على الشكل الهندسي:

أ- البوليمر الخطي: (Linear Polymer) :

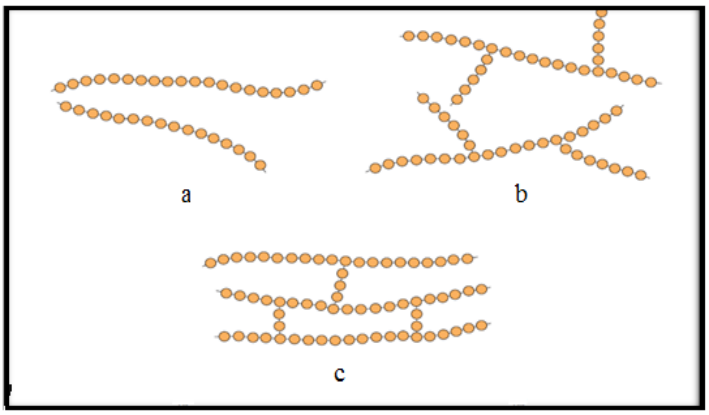
قد تكون جزيئات البوليمر مرتبطة مع بعضها بشكل خطي فيدعى البوليمر عندئذ بالبوليمر الخطي [16] وكما هو موضح بالشكل (1-2).

ب-البوليمر المتفرع : (Branched Polymer)

من الممكن أن تمتلك السلسلة البوليمرية تفرعات جانبية (side-branch) إذ تعد هذه التفرعات جزءاً من السلسلة الجزيئية الرئيسة (main-chain molecule) التي يعزى سبب نشوئها إلى التفاعلات الجانبية (side- reaction) التي تحدث خلال تصنيع البوليمر[16] وكما هو موضح بالشكل (1-2).

ج- البوليمر المتشابك: (Cross-linked Polymer)

هي سلاسل خطية متقاربة ومرتبطة مع بعضها البعض عند مواقع مختلفة بوساطة الأواصر التساهمية . إن عملية التشابك تنجز إما خلال التصنيع (Synthesis) و إما بوساطة تفاعل كيميائي لا انعكاسي (Non-reversible Chemical Reaction) [14] وكما هو موضح بالشكل (1-2).



الشكل (1-2) أنواع السلاسل البوليمرية بالاعتماد على شكلها الهندسي[16]
a-بوليمر خطي b - بوليمر متفرع c- بوليمر متشابك.

1-4-4 تصنيف البوليمرات بالاعتماد على الخواص التقنية والتكنولوجية واستعمالاتها العلمية:

هناك العديد من أصناف البوليمرات اعتماداً على تأثير الحرارة على سلوكها منها، الثرموبلاستك، ثرموسيت.

الراتنجات هي مواد بوليمرية معقدة تدخل بشكل كبير ضمن المواد الأولية لصناعة اللدائن، وكذلك تعد من المواد الأساسية في تشكيل المتراكبات، وتكون السلاسل المكونة للراتنجات بشكل غير بلوري[18] وهي:-

أ- الراتنجات المطاوعة للحرارة :(Thermoplastic Resine)

هي نوع من أنواع المواد اللدائنية ،وتتكون من سلاسل طويلة جداً وتكون جزيئاتها مترابطة بعضها مع بعض بشكل خطي أو متفرع بقوى فاندرفالز (Van der waals force) الضعيفة نسبياً، فعند تسخين هذه المواد فإن القوى بين الجزيئات (Inter Molecular Force) تضعف،

مما يؤدي إلى تليينها (Softening) وجعلها مرنة (Flexible) [11] ثم بعدها تتحول إلى منصهرات لزجة (Viscous Melts) في درجات الحرارة العالية؛ لأن السلاسل البوليمرية في المنصهر تصبح حرة الحركة، حيث تعتمد هذه السلاسل اعتماداً كلياً على درجة الحرارة، لهذا السبب يكون المنصهر بهيأة سائل لزج قابل للحركة والتنقل، وعند خفض درجة حرارة هذه المواد تسترجع هذه المواد حالتها الصلبة القوية، حيث تتقيد الحركة الانتقالية للسلاسل البوليمرية وتصبح مقتصرة على الحركة الموضعية للسلاسل (Local Motion)[19],ومن الأمثلة على هذا الصنف من البوليمرات هو البولي اثلين (Polyethylen) والبولي ستايرين (Polystyrene) والنايلون [19].

ب–الراتنجات غير المطاوعة للحرارة: (Thermoseting)

هي بوليمرات تتعرض إلى التقسية أو ما يطلق عليها تشابكات عرضية كيميائية تتحول فيها المادة من راتنجات ذات وزن جزيئي واطئ إلى مادة ذات وزن جزيئي عال[20][21] ، ويوصف بالبلاستيك الصلب ذي الترابط الشبكي (Cross linkage)، ووجود هذا الترابط يؤدي إلى إعاقة السلاسل من الانزلاق الواحدة على الأخرى، لذلك من الصعوبة إعادة نفسه مرة أخرى، لذا نرى أنها صلبة وغير مرنة، لأن نقاط الاتصال لسلسة الشبيكة تعيق تمدد السلسلة، ومن أهم مميزاته أنه لا يتحول إلى منصهر عند بلوغه درجة الانصهار(T_m) ولكنه يتحلل [22].
تستعمل هذه البوليمرات كمواد عازلة للحرارة والكهربائية، وتدخل في كثير من الصناعات الكهربائية والمنزلية، ومن الأمثلة على هذه البوليمرات البولي استر غير المشبع والايبوكسي وراتنجات الفينول فورمالديهايد [22].

جـ – البوليمرات المرنة المطاطية :(Elastomers Polymers)

وهي من البوليمرات المتمثلة بالمطاط، ومن صفاتها المتميزة الاستطالة والقابلية على التمدد والتقلص. إن قابلية هذا الصنف من البوليمرات لإظهار صفات المرونة تعتمد على مرونة الجزئيات ذات السلاسل الطويلة الموجودة في وضعيات ملتفة على بعضها بصورة عشوائية. مثل المطاط الطبيعي، بيوتادين وغيرها [23] .

د_ الألياف: (Fibers)

إنّ المواد البوليمرية المدعمة بالألياف المتراكبة تتميز بأدائها العالي؛ بسبب امتلاكها معاملات ميكانيكية عالية من مرونة وشد في المادة الأساس التي تعمل على توزيع الحمل على الألياف، فضلاً عن منع نمو الشقوق الصغيرة (**Cracks**) التي تحدث نتيجة الإجهادات الميكانيكية، وكذلك مقاومتها للظروف البيئية وتحملها الحراري **[24]**، وتختلف أشكال الألياف فمنها: المتقطعة، أو المستمرة، أو المحاكة بشكل حصيرة. لذا فإن هنالك عوامل مهمة ومؤثره في المتراكبات المقواة بالألياف ومن هذه العوامل التوجيه والتركيب وطول الليف [24] .

أ- الألياف الصناعية: (Synthetic Fibers)

تعد الألياف الصناعية من أكثر أنواع الألياف استعمالاً لمواصفاتها الجيدة والمرغوبة، ويعود أصل الألياف الصناعية إلى المواد الطبيعية، إذ تجري لها معاملة وعمليات تصنيع لتحسين خواصها وتصميمها بحسب الطلب.

ب-الألياف الزجاجية: (Glass Fibers)

الألياف الزجاجية من أكثر المواد المستعملة في تدعيم الراتنجات على نحوٍ عام، لكون هذه الألياف سهلة التصنيع والتصميم نسبياً، وتمتلك خواص جيدة، وذات كلفة اقتصادية قليلة نسبياً.

وهناك مجموعة من الأكاسيد الشائعة التي – غالباً ما – ينتج منها ألياف الزجاج، أهمها السليكا (SiO_2) مع إضافة أكاسيد الألمنيوم والبورون والصوديوم والايثرون والكالسيوم، وهذه الأكاسيد – عادة –عشوائية التركيب إضافة إلى أن بعضها يتبلور عند التسخين إلى درجات حرارية عالية جداً [25].

وتحضر ألياف الزجاج المستمرة بصهر المواد الخام في خزانات خاصة لهذا الغرض، يصب بعد ذلك المنصهر الزجاجي في حاويات دقيقة بتقنيات ميكانيكية معينة عن طريق عملية السحب عند سرع عالية جداً بمسافات طويلة [26]. ثم تبرد وتغزل للحصول على الأنماط النهائية لألياف الزجاج، وعادة تجري معالجة كيميائية لسطوح هذه الألياف لكي تكون قابلة للالتصاق بالمواد الراتنجية الرابطة، إذ يتم معاملتها بمواد كيميائية تدعى بمعاملات الربط.

وتوجد أنواع مختلفة من ألياف الزجاج، هي ألياف الزجاج نوع (A–glass) أي أنه يتم إنتاج ألياف زجاج من مواد قلوية، ويعرف أيضاً بالزجاج العالي القاعدية الذي يستعمل في تقوية المواد في المواد المتراكبة، ويستعمل في مقاومة الظروف البيئية (التآكل) [10]. أما ألياف الزجاج نوع (E–glass) التي تستعمل في التطبيقات الكهربائية بسبب خواصها الكهربائية العالية

(العزل الكهربائي)، كما أن لها مقاومة ميكانيكية عالية وخواص مقاومتها الكيميائية جيدة [, [10 25]].

أما ألياف الزجاج نوع (C) فتمتلك مقاومة أعلى للتآكل الكيميائي الحاصل بسبب الماء أو الحوامض والمحاليل الأخرى مقارنة بنوع (E–glass)، ولكنها أغلى ثمناً، ولها خواص متانة أقل [10], [25].

أما النوعان (R–glass) و (S–glass) يمتازان بالمتانة والقوة العالية التي تستعمل في تصنيع المركبات الفضائية والنوع (S–glass) أغلى كثيراً من نوع (E–glass) ولكنه يمتلك معامل مرونة أعلى، ومقاومة أعلى لدرجات الحرارة العالية [25] , [10].

وتمتاز ألياف الزجاج بخواص تجعلها مفضلة أو أكثر استعمالاً من غيرها؛ لأنها مواد لا تحترق ولا تساعد على الاحتراق، ولا تمتص الرطوبة؛ لأنها عوازل جيدة كهربائية [25].

جدول (1 – 1) يبين أهم أنواع ألياف الزجاج ونسب مكوناتها [27]

The Oxides in the structure of glass materials	E-glass	C-glass	S-glass
SiO_2	52.4	64.4	64.4
$Al2O_3$ $Fe2O_3$	14.4	4.1	25.0
CaO	17.2	13	-
MgO	4.6	3.3	10.3
Na_2O K_2O	0.8	9.6	0.3
BaO_3	10.6	4.7	-
BaO	-	0.9	-

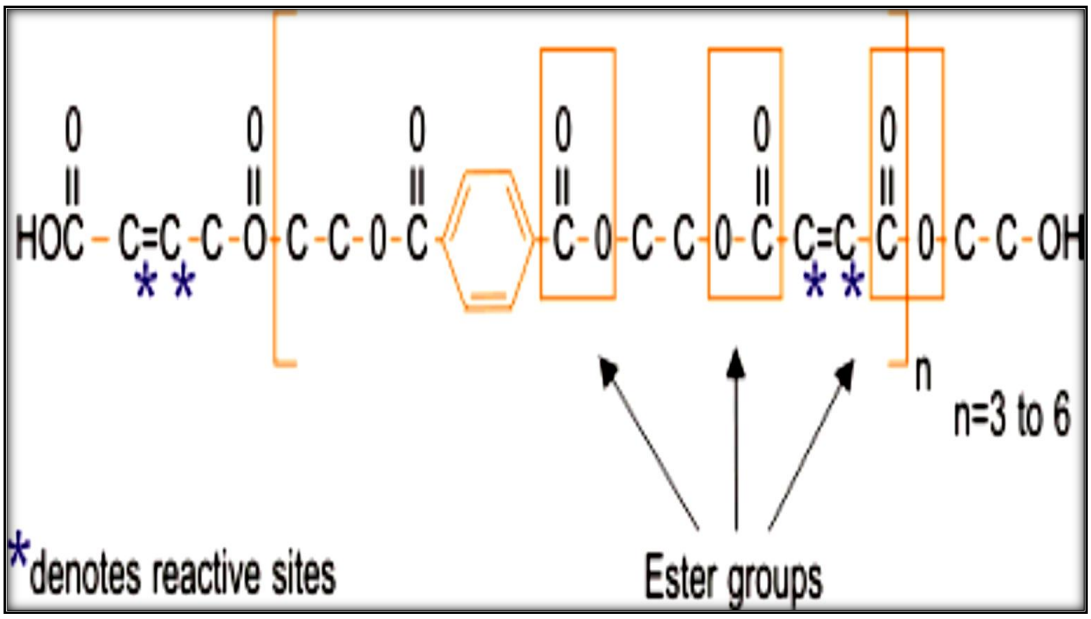
1–5 راتنج البولي استر :(Resin Polyester)

يعد راتنج البولي استر غير المشبع من البوليمرات المتصلدة بالحرارة، والواسع الاستعمال في العالم الصناعي والمدني، ويتمتع بكلفته الواطئة وصلادته ومقاومتها العالية نسبة إلى وزنه، ويستعمل في صناعة الأجزاء الميكانيكية والأنابيب والخزانات [28].

يتم الحصول على البولي استر من تفاعل حامض عضوي ثنائي القاعدة مع كحول ثنائي الهيدروكسيد، ويمكن أن يقسم على بولي استر مشبع وبولي استر غير مشبع؛ لتكوين التشابك

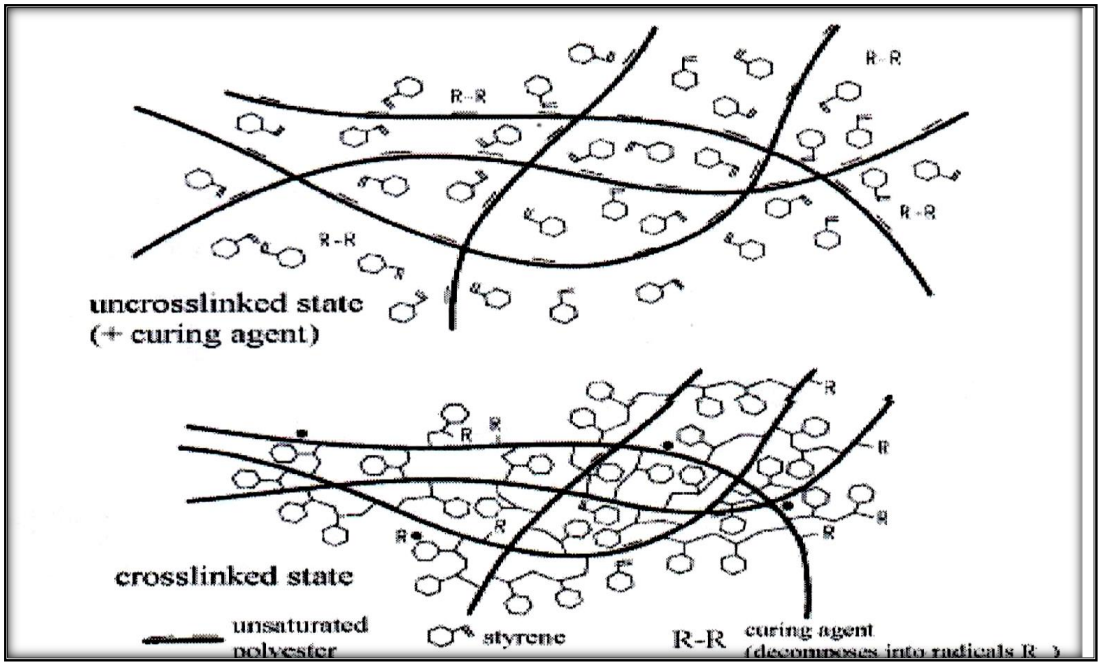
في البولي استر غير المشبع، فالمجموعة غير المشبعة أو الآصرة الثنائية ينبغي لها أن تكون في حامض ثنائي القاعدة [29].

يكون البولي استر غير المشبع بشكل سائل لزج يتضمن مخفف قابل للبلمرة (الستايرين اوكريليت ميثاكرليك) مع مانعات البلمرة، إذ تتم عملية تصلب البولي استر غير المشبع بميكانيكية الجذور الحرة (Free Radicals)، حيث يتم توليد فيضاً عالياً من الجذور الحرة في درجة حرارة الغرفة بإضافة بيروكسيد عضوي مثل مثيل أثيل بيروكسيد كيتون [30] ، يتحلل البيروكسيد بمهاجمة المجموعة غير المشبعة مثل(C=C) لبدء البلمرة. [29] ويوضح الشكل رقم (1–3) الآصرة المزدوجة الفعالة وتفاعل التشابك.



الشكل (1–3) التركيب الكيميائي لراتنج البولي استر غير المشبع[31].

تتلخص عملية التصلب بتشكيل جسور مستعرضة (Cross Linking) بين الجزئيات العملاقة لمادة البولي استر والمادة الشابكة، ونتيجة لهذا تتشكل البنية الفراغية اللانعكاسية في المنتج النهائي[32] كما موضح في الشكل (1–4)،حيث ترتبط خواص البولي استر الميكانيكية بدرجة التشابك وصلابة الجزيئات في مناطق التشابك [33].



الشكل (1-4) آلية حدوث التصلب في البولي استر غير المشبع[32].

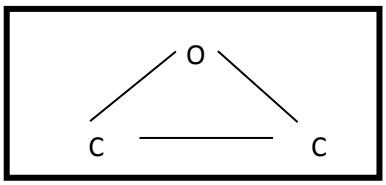
1-5-1 استعمالات البولي استرات غير المشبعة:-

تستعمل البولي استرات غير المشبعة في الكثير من المجالات العامة مثل التشييد، والبناء، والصناعات البحرية، والكهربائية، والصناعية، والنقل، وكذلك الشؤون الصحية، ففي مجال البناء تستعمل للحصول على شرائح الأسقف وممرات تكييف الهواء، والقواطع، والإطارات، والشبابيك، والأبواب، وحمامات السباحة، وقباب الأسقف، وألواح الرخام الصناعي، وكذلك التكسية المقاومة للماء [34] .

وتستعمل في الأثاث في صنع ألواح الديكور، والزخرفة، وأجزاء الأثاث، والإطارات، ومناضد المدارس، والسبورات، والأجزاء الداخلية للناقلات، والشبابيك نصف الشفافة، والتماثيل، وصناعة قوارب النزهة، وصناديق حفظ الأسماك، وقوارب الصيد، وحاويات أجسام السيارات، وشاشات الرادار، وخوذات سائقي سيارات السباق، وأجزاء من جسم الطائرات والمروحيات، والعوازل الكهربائية، وصناديق وصلات الأنابيب، والخزانات الصناعية، وسنارات الصيد وأدواته المختلفة [34] .

1-6 راتنج الايبوكسي: (Epoxy)

يعرف الايبوكسي بأنه مادة بوليمرية متصلدة حرارياً (Thermoset) يحتوي على مجموعة واحدة أو أكثر من الآيبوكساید (Epoxide) وابسط صيغة له هو الاوكسيران (Oxirane)، إذ يمثل ذرة اوكسجين مرتبطة مع ذرتين كاربون مرتبطتين ببعضها كما هو موضح في الشكل (1-6)[14].



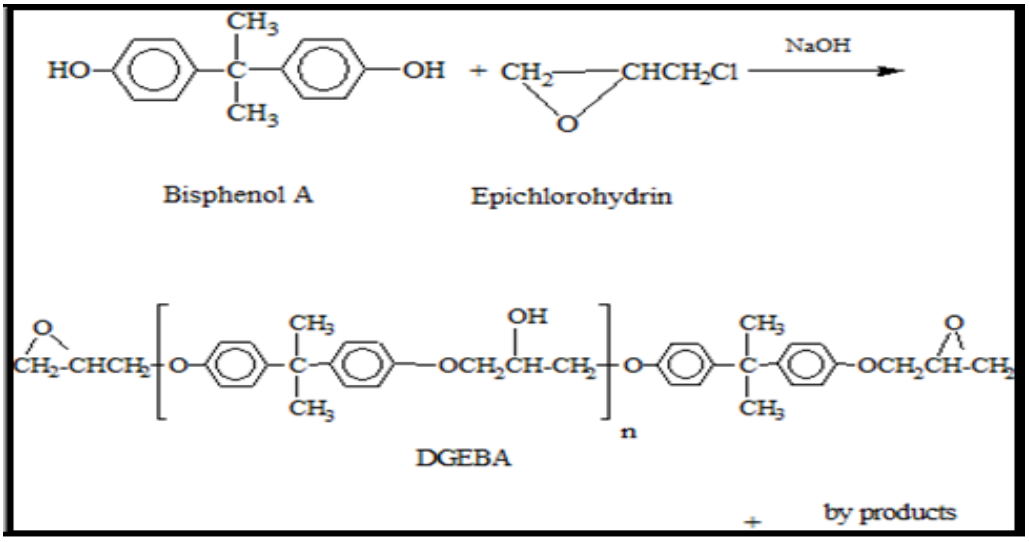
الشكل (1-5) مجموعة الاوكسيران [13]

وهو بوليمرات معقدة سائلة يمكن تحويلها إلى مادة صلبة بطرائق فيزيائية وكيماوية، ويعد راتنج الايبوكسي من أهم أنواع الراتنجات المستعملة في الصناعة ويستعمل في معالجة التصلد البولي أمين العضوي لتحويله إلى راتنج لدن يتصلد بالحرارة [14]. ومن أهم مميزاته الانكماش المنخفض، وقوّة الكلل الجيدةِ، ومعدل زحفه الواطئ، وحماية تآكلِه الجيدةِ، وتعددية الاستعمال في المعالجة، مما لا يمكن الوصول إليه من أي بوليمر أخر[14,],[16] وتحتوي راتنجات الايبوكسي على أواصر تساهمية في تركيبها الكيميائي؛ مما يجعله من أكثر المواد استخداما في التطبيقات الصناعية [35]، وكذلك يستعمل للطلاء واللواصق. وتمتاز المتراكبات المشكلة لراتنج الايبوكسي بخاصيتها الجيدة للعزل الكهربائي؛ لقلة الالكترونات الحرة بسبب التركيب الكيميائي للراتنجات، ولكن مرونتها الواطئة وهشاشتها العالية وحساسيتها للرطوبة تسبب تقييداً في الاستعمال [14],[16]. والشكل(1-6) يمثل التركيب الكيميائي لراتنج الايبوكسي [35].

شكل (1-6) التركيب الكيميائي لراتنج الايبوكسي [35]

وهناك طريقتان لتحضير راتنج الايبوكسي، الأولى بوساطة تفاعلات التكثيف (Condensation)، والثانية بالإضافة (Addition)، وباستعمال تفاعل التكثيف، وهي أكثر

الطرق شيوعاً لتحضير راتنج الايبوكسي، وهي بتفاعل مركب (Epichlorohydin) مع (A Bisphenol) [14],[16] ، ومن مميزات هذا التفاعل أنه تتم المُعَالَجَة الحرارية بدرجة حرارة °C (120– 175) ومن دون نواتج عرضية [16]، والشكل (1–7) يوضح طريقة تحضير راتنج الايبوكسي.



شكل (1–7) يوضح عملية تآصر راتنج الايبوكسي [16]

إن لراتنجات الايبوكسي خصائص كثيرة أهمها [35]

1– يمكن الحصول على أنواع مختلفة الراتنجات عن طريق التحكم في تركيبها الكيميائي وباستخدام أنواع مختلفة من المصلدات (Hardeners)؛ لإعطاء الراتنجات بخواص مناسبة ولمدى واسع من درجات الحرارة.

2 – تمتلك خصائص تلاصقية فريدة تعزى لوجود المجاميع المستقطبة فيها، ولذلك فان عملية اللصق لا تحتاج إلى ضغط عال، وتتم في درجة حرارة الغرفة.

3 – عند عملية الإنضاج أو التقسية فان التقلص في الحجم يكون قليلا جدا ، وهذا ناشئ عن غياب النواتج العرضية مثل: الأبخرة ،التي عند وجودها تؤدي إلى تكوين فراغات تؤدي إلى تقليل قوة الراتنج المتصلد وقابلية عزله الحراري .

4 – للحلقة الايبوكسية فإن فعاليتها الكيميائية قد أعطت المرونة الكافية لراتنجات الايبوكسي لتكوين الارتباطات بينها وبين الراتنجات اليوريثانية في شبكة بوليمرات شبه متداخلة الذي يؤدي إلى تحسين خصائص الايبوكسي بدرجة كبيرة.

7-1 **الدراسات السابقة:** (Literature Review)

وفي عام 2017 قامت الباحثة أوهام محمد حميد [36]بدراسة تأثير متانة الانحناء لمادة بوليمرية وأخرى متراكبة ليفية، وذلك بأجراء اختباري الانحناء ثلاثي النقطة ورباعي النقطة وبكسر حجمي مقداره (20%) للألياف، وتم تدعيم الايبوكسي بالألياف الزجاجية المقطعة، إذ تمت الاختبارات عند درجة حرارة الغرفة، وأظهرت نتائج الاختبارات أن الايبوكسي المدعم بألياف الزجاج يمتلك متانة انحناء أعلى من تلك للايبوكسي النقي، وكذلك أقل انفعالاً، وفي اختبار رباعي النقطة وجد أن القوة اللازمة لفشل العينة من الايبوكسي النقي تكون أعلى من تلك اللازمة لفشل العينة المعرضة لاختبار ثلاثي النقطة نفسها.

وفي العام 2015 قامت الباحثة Sihama *et al.*, [37]. بدراسة تقوية طقم الأسنان صناعي كامل علوي وسفلي من نوع راتنج البولي مثيل ميثا اكريليت تم تحضيره وعولج ذاتيا كمادة أساس، وقد تمت تقويتها بنوعين مختلفين من الدقائق تضمنت دقائق الهيدروكسي اباتايت النانوية والزركونيا المايكروية اضيفت بكسور حجمية مختلفة(1-2-3%) ونوعين من الألياف الحصيرية الثنائية الاتجاه هي ألياف الزجاج (Eglass) وألياف الكفلر نوع (49). وقد أضيفت للمواد المتراكبة بكسر حجمي مقداره (5%)، وقد تم إجراء العديد من الفحوصات الميكانيكية (كالانحناء –إجهاد القص الأعظم – مقاومة الصدمة).

وقد بينت النتائج أن قيم أغلب الخواص ازدادت مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق الهيدروكسي اباتايت النانوية ودقائق الزركونيا، بينما قلت مقاومة الصدمة. وأن دقائق الزركونيا وألياف الكفلر الحصيرية أعطت أعلى قيم لخواص المواد المتراكبة ولكل العينات المستخدمة في التحضير ماعدا الانفعال الإنحنائي.

في عام 2013 درس الباحثه Ikram *et al.*, [38]الخواص الميكانيكية للايبوكسي المدعم بثنائي أوكسيد التيتانيوم المايكروي والنانوي، وقد أظهرت النتائج أن قوة الانحناء لمتراكب الايبوكسي المدعم بثائي أوكسيد التيتانيوم النانوي تزداد بزيادة النسب الوزنية للجسيمات النانوية،

وهذا ناتج من تقليل المسافة بين السلاسل وتكوين أواصر فاندرفالز بين السلاسل والجسيمات، وهذاالاستنتاج يؤدي إلى زيادة التقييد بين السلاسل البوليمرية والجسيمات وبين السلاسل البوليمرية نفسها.

وفي العام نفسه استخدم الباحث (مسار نجم عبد) [39] زجاج الفلورسن التالفة كمادة مدعمة، حيث تم تحضير المادة المتراكبة بإضافة نسب وزنية مختلفة من مسحوق زجاج الفلورسن التالفة لراتنج البولي استر غير المشبع لغرض دراسة تاثير تلك المادة على بعض خواص البولي استر، وقد تم الحصول على مادة متراكبة خفيفة الوزن وعالية الصلادة، ولها مقاومة صدمة مناسبة بحيث يمكن استخدامها في عدد من التطبيقات مثل دعامات السيارات.

وفي عام 2012 درس (علي) وآخرون [40] الخصائص الميكانيكية لمادة البولستر المدعمة برايش ومسحوق النحاس وتم إجراء فحوصات ميكانيكية عليها مثل مقاومة الانحناء واختبار الصدمة، وقد وجدوا أن طاقة الصدمة الممتصة الـلازمـة لحدوث الكسر للبولي استر بدون تدعيم قليلة مقارنة مع النماذج المدعمة بالنحاس على اختلاف أشكاله (الرايش والمسحوق) وعلى اختلاف الكسور الوزنية.

وفي العام نفسه قام الباحث مهند وآخرون [41] بدراسة تأثير المضافات النانوية والمضافات المايكروية لمادة السيليكا على الخصائص الميكانيكية المتمثلة بقوة الانحناء ومعامل المرونة لمادة الايبوكسي، وقد وجدوا أن قوة المتانة ومعامل المرونة يزدادان بزيادة نسب الإضافات للمتراكبات النانوية وبالأخص في النسب ذات الإضافات القليلة، ثم يقل التحسن مع بقاء الخصائص الميكانيكية للمتراكبات أعلى من الخصائص الميكانيكية لمادة الايبوكسي، في حين أن إضافة الجسيمات المايكروية تؤدي إلى تقليل المواصفات الميكانيكية للمتراكبات مع زيادة معامل المرونة للمتراكبة المايكروية.

وفي عام 2011 درست الباحثتان (اريج وسيوينج) [42] الخصائص الميكانيكية لمتراكب البولي اثيلين المدعم بمسحوق الصدف، وكانت النتائج هي زيادة معامل المرونة والانحناء والصلادة النسب الوزنية لمادة التدعيم. مع زيادة النسب الوزنية لمادة التدعيم أما مقاومة الصدمة ومعدل الزحف فإن قيمها تقل مع زيادة النسب الوزنية لمادة التدعيم.

وفي عام 2007 قام الباحث Jwad khadim Oleiwi [43] بدراسة عملية لتأثير الكسر الحجمي للألياف على خواص الانحناء لعينات فحص مادة صفائحية معمولة من طبقتين،

إحداهما مسلحة بألياف الزجاج، والأخرى مسلحة بألياف الكفلر، وقد بينت النتائج أن إجهاد الشد يقل مع زيادة الكسر الحجمي لألياف الزجاج للطبقة السفلى، بينما يزداد مع زيادة الكسر الحجمي لألياف الكفلر للطبقة العليا. وأن إجهاد الضغط يزداد مع زيادة الكسر الحجمي لألياف الزجاج للطبقة السفلى، بينما يقل مع زيادة الكسر الحجمي لألياف الكفلر للطبقة العليا.

قامت الباحثة لميس علي في عام 2006 [9] بدراسة بعض الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للمواد المتراكبة المكونة من البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية العشوائية المتقطعة وبكسر حجمي 15%، وقد أضيفت ألياف النايلون وبكسر حجمي مختار %(6، 8، 15، 20) وبترتيب ألياف متنوع (حصيرة متعامدة (°0 – °90)، عشوائي). كما عرضت الدراسة تأثير النظام الطبائقي على خواص المتراكب الهجيني، ولقد أظهرت نتائج الدراسة زيادة ملحوظة في قيم إجهاد الشد عند نقطة الكسر، ومعامل المرونة (الشد والانحناء)، متانة الصدمة، متانة كسر الصدمة عند زيادة الكسر الحجمي لألياف النايلون ولكلا النظامين في ترتيب الألياف، بينما أظهرت نتائج فحص الصلادة والانضغاطية سلوكاً مغايراً.

كذلك لاحظنا أن أفضل نسبة إضافة لألياف النايلون هي (15%) وبترتيب حصيري متعامد (°0– °90)، أما الاختبارات الفيزيائية فقد لوحظ انخفاض التوصيلية الحرارية وارتفاع الامتصاصية بزيادة الكسر الحجمي لألياف النايلون، كما أدى استخدام النظام الطبائقي لترتيب الألياف إلى تحسين الخصائص الميكانيكية وخاصة عندما تكون مادة الألياف للطبقتين الخارجيتين من الزجاج باستثناء خاصية الانضغاط، وكذلك بزيادة النظام الطبائقي للألياف تتناقص الموصلية وتزداد الامتصاصية.

في عام (2005) قام الباحثان (Sallah and Abass)[44] بدراسة تأثير درجة الحرارة في الخصائص الميكانيكية والحرارية لراتنج الايبوكسي المُدعم بألياف الزجاج والكفلر المحاكة بشكل حصير وألياف البولي بروبلين بهيئة حصيرة من ألياف مقطعة (Chopped strand met). وإن هذه المواد المدعمة تكون مرتبة داخل المادة المتراكبة بشكل معين وبكسر حجمي قدره (30%)، وقد استنتج الباحثان أن لدرجة الحرارة تأثيراً في الخصائص الميكانيكية كمعامل المرونة والصلادة، إلا أن قيم متانة الانحناء والموصلية الحرارية تتحسن بارتفاع درجات الحرارة.

في عام 1999قام الباحث Ozdil and Carlsson [45] بدراسة تجريبية على عينات من مادة متراكبه مكونة من البولستر والألياف الزجاجية لصفائح أحادية الاتجاه وصفائح ذات

طبقات مائله على وجه التحديد $(0)_6$, $(\pm30)_5$, $(\pm45)_5$ وأظهرت النتائج أن متانة الكسر في البداية أكبر لصفائح أحادية الاتجاه وانخفضت مع زيادة الزاوية في الصفائح ذات الرقاقات المائلة، حيث إن متانة الكسر تزداد مع زيادة الكسر الطولي وتصبح مستقرة بعد انتشار الكسر في الصفائح ذات الطبقات المائلة. وقد لوحظ في جميع الصفائح أن الشقوق تنتشر بطريقة غير منتظمة عبر عرض العينة

1-8 الهدف من البحث:(The Aim Of Work)

دراسة الخصائص الميكانيكية لصفائح متراكبة مكونة من راتنج الايبوكسي المدعم بطبقات مختلفة من الالياف الزجاجية وكذالك راتنج البولي استر المدعم بنفس الطبقات ذات الزوايا الزوايا احادية الاتجاه (**Unidirectional laminate**) .

$[0^0]_6$, $[45^0]_6$, $[90^0]_6$, $[0^0]_3$, $[45^0]_3$, $[90^0]_3$ وزوايا متناظرة وغير متناظرة

(**Symmetric laminate** و**Un-symmetric laminate**) $[0^0, 45^0, 90^0]_S$ $[0^0, 45^0, 90^0]$عند درجات حرارية مختلفة C $(100^0.50^0.25^0\ 125^0)$ وتتضمن الخصائص الميكانيكية اختبار الانحناء ثلاثي النقطة (Flexural strength) والدراسة تشمل الاتي :

1 - دراسة تأثير درجة الحرارة على متانة الانحناء .

2 - دراسة تأثير اتجاه الزاوية على متانة الانحناء .

3 - دراسة تأثير زيادة عدد الطبقات على متانة الانحناء .

ويمكن الاستفادة من هذا العمل في تطبيق الواح اجنحة الطائرات وهياكل السفن وغيرها.

الفصل الثاني

الجـــانب النـــظري

الفصل الثاني

2-1 المواد المتراكبة:(Composite Materials)

هي اشتراك مادتين أو أكثر بدون حصول تفاعل كيميائي بينهما لتكوين مادة جديدة تمتاز بصفات مختلفة عن صفات المواد المكونة لها.

وتعتمد المادة المتراكبة – بصورة رئيسة – على مادة الأساس ومواد التدعيم، فضلاً عن طبيعة السطح البيني بينهما [46]. وتقوم مادة الأساس بالمحافظة على المادة المضافة (أي مواد التدعيم) من الضرر (Damage) الناتج من الظروف الجوية، وتغير درجات الحرارة، والأكسدة، والتآكل، فضلاً عن عملية نقل الإجهادات لها [47]، وتتميز المادة الأساس بكونها منخفضة الكثافة وذات صلادة ومقاومة صدمة منخفضة مقارنة بمواد التدعيم.

إنّ الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للمادة المتراكبة تكون أعلى من الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لمكوناتها في ما لو كانت منفردة، إذ تتحسن قيم (المتانة، والجساءة، ومقاومة التآكل، ومقاومة البلى، وعمر الكلال، والعزل، والتوصيل الحراري). أما ميزات المواد المتراكبة فهي [25]:

1. نسبة المتانة والصلادة إلى الوزن تكون عالية.
2. كثافة واطئة.
3. مقاومة عالية للكلال.
4. مقاومة عالية للرطوبة.
5. معامل مرونتها عالٍ.

2-2 مكونات المادة المتراكبة(Composite Material Components) :

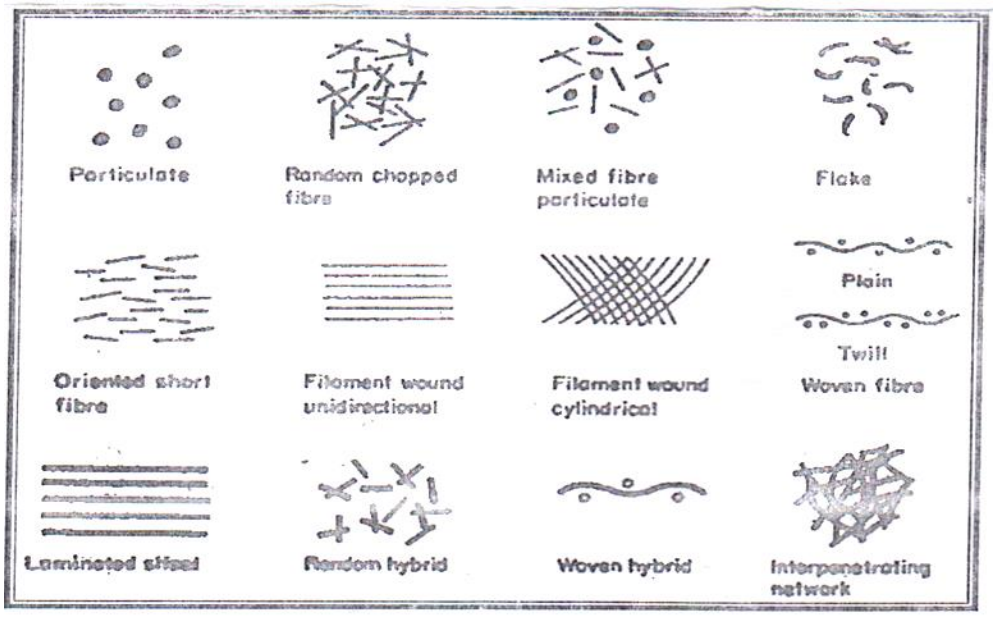
إن صفات المكونات الأساسية للمادة المتراكبة تعتمد على مادة الأساس، ومادة التدعيم، والسطح البيني، وقوة التلاصق.

2-2-1 مادة الأساس (Matrix Material):

وهي المادة الرابطة للمواد الداخلة في تركيب المواد المتراكبة وهي مواد التدعيم، إذ إن للمادة الأساس تأثيراً كبيراً في خواص المواد المتراكبة لأنواع التدعيم كافة، لأنها تقوم بربط مادة التدعيم فضلاً عن توزيع الإجهادات على مواد التدعيم في حالة تسليط حمل على المادة المتراكبة[47]. وتُختار مادة الأساس على أساس ما تتمتع به من خواص الكثافة، وقابلية التوصيل الكهربائي والحراري، وقابلية التمدد الحراري، ودرجة حرارة التليين أو درجة الانصهار. وتتميز مادة الأساس بكونها ذات صلادة ومقاومة صدمة منخفضتين مقارنة بمواد التدعيم[25].

2-2-2 مواد التدعيم (Reinforced Materials):

هي تلك المواد التي تعمل على تقوية مادة الأساس ومن ثم تقوية الخواص الميكانيكية للمادة المتراكبة ، وقد تكون مواد التدعيم من مواد خام طبيعية أو صناعية سيراميكية أو فلزية أو لدائنية، وعملية التدعيم تتم عن طريق ميكانيكية نقل الحمل المسلط من مادة الأساس إلى مادة التدعيم، وتتصف – بصورة عامة – بالمقاومة العالية. وتصنف اعتماداً على شكل مواد التدعيم وطبيعتها إلى ألياف (Fibers) أو دقائق (Particles)، أو قشور صفائحية (Flakes) أو بهيأة شبكة من المواد[48]



الشكل (2-1) مواد التدعيم المختلفة والهجينة[48]

2-2-3 السطح البيني وقوة التلاصق (Interface and adhesion strength)

يعرف السطح البيني بأنه السطح الرابط بين مواد التدعيم والمادة الأساس، إذ يكون هناك نوع من عدم استمرارية للخواص الميكانيكية والفيزياوية والكيميائية، ويقصد بعدم الاستمرارية وجود اختلاف في التركيب البلوري ومعامل المرونة والكثافة ومعامل التمدد الحراري.

إن آلية نقل الإجهاد من المادة الأساس إلى مواد التدعيم أهم مبدأ لتدعيم المادة الأساس بمواد ذات معامل مرونة ومقاومة عالية تعتمد -بالدرجة الأساس- على قوة الربط بين هذه المواد، أي أنه بانعدام هذا الربط لا يكون هناك نقل للقوة، تتصرف مواد التدعيم كفجوات داخل المادة الأساس، وهذا من الأسباب التي تؤدي إلى الفشل في صناعة المواد المتراكبة، فضلاً عن أن سلوك السطح البيني يؤثر في كيفية فشل المادة والشغل اللازم لتشققها وتمزقها[25].

يعتمد السطح البيني على نوع الربط (Bond) بين المادتين ومن أهم أنواع الربط هي:

1.الربط الكيميائي (Chemical Bonding):

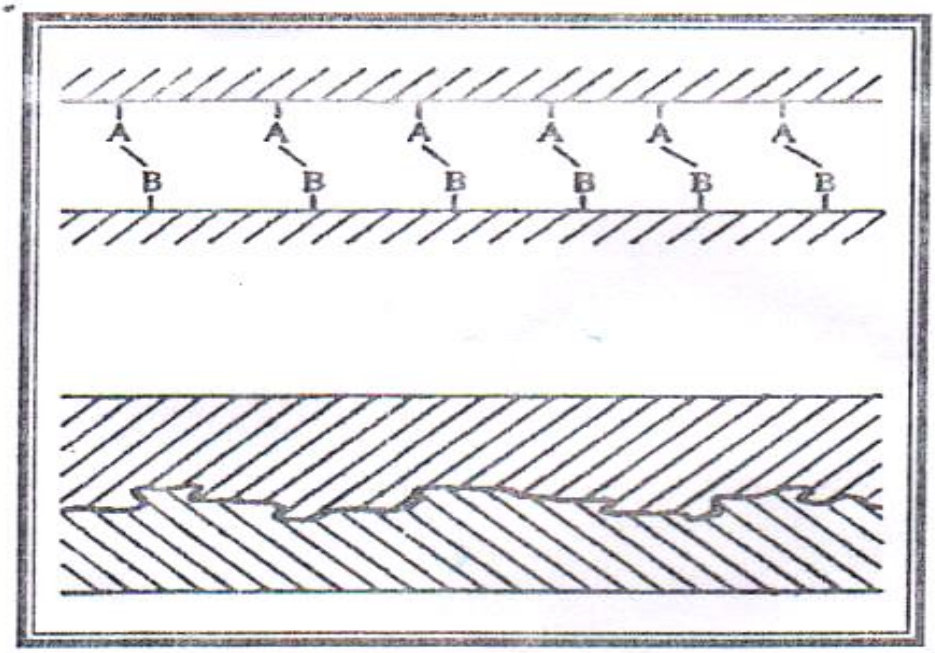
يعد هذا الربط من أقوى أنواع الربط، ولغرض الحصول على سطح بيني يمتلك قوة أو مقاومة قص تقارب مقاومة المواد المتراكبة وقوتها يصار إلى استعمال هكذا نوع من الربط [49]،[50].

إنّ النوع الأول من الربط هو الربط الكيميائي قد يكون عن طريق القوى الجزيئية والناتجة عن تأثير جزيئات المادتين بعضها على بعض، أما كفاءة هذا النوع من الربط الكيميائي فيعتمد على نوع الربط الكيميائي الذي يحصل بين الجزيئات، فقد يكون الربط كأواصر أيونية أو معدنية أو تساهمية، وكلما ازدادت قابلية التبليل كلما ازدادت كفاءة هذا النوع من الربط [25] , [49].

أما النوع الثاني من الربط فهو الذي يحصل بين السطحين نتيجة انتقال الجزيئات أو الذرات من مادة إلى أخرى، وهذه العملية يتم السيطرة عليها بواسطة خاصية الانتشار (Diffusion) أي أنه قد يحصل نتيجة انتقال بعض ذرات الوسط إلى الشبكة الجزيئية للألياف أو بالعكس أو يحصل الانتقال على نحو متبادل بين الاثنين [49] ، [50].

2.الربط الميكانيكي (Mechanical Bonding):

إن الربط الميكانيكي يمكن أن يكون عن طريق شكل المادتين كلتيهما، فقد تحوي إحداهما على ثقوب أو شقوق تتغلغل أو تتداخل بالمادة الأخرى كما في صف الخشب أو الورق، وقد يكون الربط الميكانيكي معتمداً على مقاومة أو تأثير الاحتكاك وخشونة السطح بين المادتين [49] ,[50].



الشكل (2-2) يوضح أهم أنواع ميكانيكيات الربط [25]

(أ) الربط الكيميائي (ب) الربط الميكانيكي

2-3 تصنيف المواد المتراكبة (Classification of Composite Materials)

يمكن تصنيف المواد المتراكبة إلى طرق عدة:-

2-3-1 تصنيف المواد المتراكبة بالاعتماد على مادة الأساس (Matrix)

1. المواد المتراكبة المعدنية (Metallic Composite Materials):

وهي مواد متراكبة ذات أساس معدني نقي أو سبائكي تدعم بمواد على هيئة (ألياف أو دقائق أو شعيرات) لغرض الحصول على مواد متراكبة ذات خواص ميكانيكية ملائمة للتطبيقات المختلفة. تتميز المواد المتراكبة المعدنية بوجود ترابط وثيق ما بين مادة الأساس ومواد

التدعيم مع إمكانية حدوث عملية انتشار فيما بينها ولهذا يتطلب وجود استقرارية كيميائية وفيزيائية للطور (مادة الأساس ومواد التدعيم).

تمتاز المواد المتراكبة المعدنية بالكثافة العالية، وتحمل حراري عال نسبياً، ومقاومة وجساءة عاليتين، ومتانة عالية ومعامل تمدد حراري واطئ وموصلية حرارية عالية، بالإضافة إلى استقرارية بالأبعاد [51].

2.المواد المتراكبة السيراميكية (Ceramic Composite Materials):

هي مواد ذات أساس سيراميكي (السيراميك متكون من مواد غير عضوية وغير معدنية) تدعم بجسيمات ذات أنظمة بلورية مختلفة [52]، تتألف هذه المواد من طور التقوية المتكونة من مواد سيراميكية مثل (الكاربون، Al_2O_3، SiC، ZrO_2) المعروفة بمقاومتها العالية وتحملها لدرجات حرارية مرتفعة، أما بالنسبة لطور الأرضية، فهو عبارة عن مواد سيراميكية أوكسيدية (Al_2O_3) أو غير اوكسيدية (SiC، C، Si_3N_4) أو مادة سليكاتية والتي تحيط بطور التقوية.

وقد احتلت المواد المتراكبة حيزاً مرموقاً في حقول المواد الهندسية؛ نظراً لخواصها المميزة عند الدرجات الحرارية العالية وبدون حدوث تدهور في الأداء، وقابلية تحمل الإجهادات العالية، ومعامل تمددها قليل، وتتحمل الأجواء المؤكسدة، وتكون ذات متانة عالية وعازلة كهربائياً[51].

3.المواد المتراكبة البوليمرية (Polymeric Composite Materials):

هي مواد متراكبة ذات أساس بوليمري أضيفت إليها بعض الإضافات كأن تكون (حشوات، أو ألياف، أو أسلاك معدنية، أو ملدنات، أو بوليمرات أخرى)، تتمتع بصفات ميكانيكية عالية نسبة إلى الكثافة فضلاً عن سهولة تصنيعها، لذا تعد أفضل الأنواع [26]، ومن أسباب استعمال المواد المتراكبة ذات الأساس البوليمري [25],[52]:

1. يمكن أن تصمم بأشكال وأحجام مختلفة.
2. لا تصدأ ولا تتآكل.
3. مقاومتها الجيدة للمواد الكيمياوية والرطوبة.
4. تكون عازلة جيدة للكهربائية والحرارة.
5. تمتاز بخفة الوزن والمتانة العالية
6. تقليل نفاذية البوليمر للغازات والسوائل.
7. تمتلك صلادة ومقاومة صدمة عالية.

إن الخواص الميكانيكية والفيزيائية لهذه المواد تتأثر بطريقة تصنيعها بصورة مباشرة فضلاً عن تأثرها بالخواص ومقدار الكسر الحجمي لكل من مكوناتها.

2-3-2 تصنيف المواد المتراكبة بالاعتماد على مواد التدعيم(Reinforce):

1. مواد متراكبة مدعمة بالتشتت (Dispersed Composites):

هي دقائق تتوزع بدقة في الوسط، إذ تعمل على زيادة حد المرونة بحيث لا يتجاوز حجمها (0.1 μm) وهي تعمل على تدعيم المادة الأساس عن طريق إعاقة حركة الانخلاعات في عملية التشويه اللدن. [53],[54]

2. مواد متراكبة مدعمة بالدقائق (Particulate Composite):

وتكون هذه معدنية أو غير معدنية وحجمها أكبر (1 μm) دائماً، تعمل الدقائق عوائق لتشويه المادة الأساس بسبب صلادتها العالية وعدم تشويهها في أثناء الإجهاد. وتعتمد خواص المواد المتراكبة في هذا النوع على حجم الدقائق والكسر الحجمي المستعمل، وتكون هذه الدقائق على أنواع وأشكال عدة منها الكروية والقشرية والإبرية والخطية، إذ تعمل على زيادة مقاومة الزحف وتحسين معامل التمدد الحراري ومقاومة الصدمة للمادة الأساس. [55]

3. مواد متراكبة مدعمة بالصفائح (Laminated Composite):

تتألف مادة التدعيم من طبقات (Layers) من مواد مختلفة، وهي – في الأقل – ما بين مادتين مختلفتين ترتبط معاً. [56] وفي هذا النوع من التدعيم تمتلك المواد المتراكبة صفات جيدة منها الوزن الخفيف ومقاومة التآكل والجساءة والمتانة. [55].

4. مواد متراكبة مدعمة بالألياف (Fibers Reinforced Composites):

إنّ التدعيم بالألياف له دور كبير في تحسين الخواص الميكانيكية، لكي تزيد من مقاومة الشد ومقاومة الصدمة، ويعود السبب إلى تحمل الألياف الجزء الأكبر من الإجهاد الخارجي، إذ تعمل مادة الأساس على نقل الإجهاد إلى الألياف.

إن الألياف تكون بأشكال وأنواع مختلفة، منها الألياف التي قد تكون مادة سيراميكية أو بوليمرية، وقد تكون مستمرة أو محاكة على نحو حصيرة أو متقطعة. [57] وقد استخدمنا بهذه الرسالة مواد متراكبة ذات طبقات متعددة متكونة من مواد بوليمرية هي البوليستر والايبوكسي (المادة الأساس) والألياف الزجاجية (مادة التدعيم).

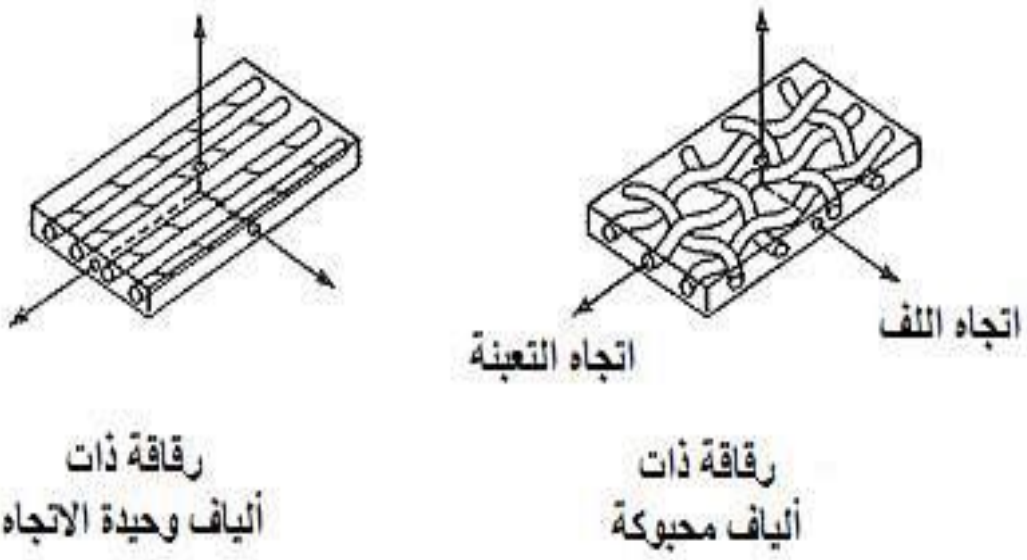
5- التدعيم بالطبقات (Laminates Reinforcing) :

تتكون المادة المتراكبة متعددة الطبقات من أطوار مرتبة على وفق نسق هندسي صمم بحسب الهدف منه، فمثلاً على شكل سلسلة متناوبة من الطبقات أو على شكل نسق أخر يسمى بالشطيرة (Sandwich)، إذ يمكن أن تعطي هذه المواد تحسناً واختلافاً كبيراً في الخواص الناتجة مقارنة بخواص أطوارها الداخلية، وقد تحتوي الطبقة المنفردة على مكونات الطبقة الأخرى نفسها، كما قد تكون مغايرة تماماً. [58]

2-4 الرقاقات(Lamina):

يمكن عد الرقاقة هي اللبنة الأساسية للصفيحة الطبقية، والمقصود بها ترتيب مسطح لألياف أحادية الاتجاه أو ألياف محبوكة مع بعضها البعض ضمن المادة الأساس ويبين الشكل (2-3)

رقاقتين مسطحتين نموذجيتين مع محوريهما الرئيسين للمادة، حيث يوازي إحداهما اتجاه الألياف ضمن الرقاقة، ويكون الآخر متعامد مع هذا الاتجاه. وتعد الألياف عامل التدعيم الرئيسي، وتكون صلبة وقوية. إن وظيفة المادة الأساس هي تدعيم الألياف وحمايتها وتامين توزيع ونقل الحمل بينها، وعندما ينكسر أي ليف ينتقل الحمل من جزء من الليف المكسور إلى المادة الأساس، ثم إلى الجزء الآخر من الليف المكسور، مع الألياف المجاورة، حيث تكون آلية انتقال الحمل هي إجهاد القص الذي يحدث في المادة الأساس. إن إجهاد القص يقاوم سحب الليف المكسور وانفصاله[59] .

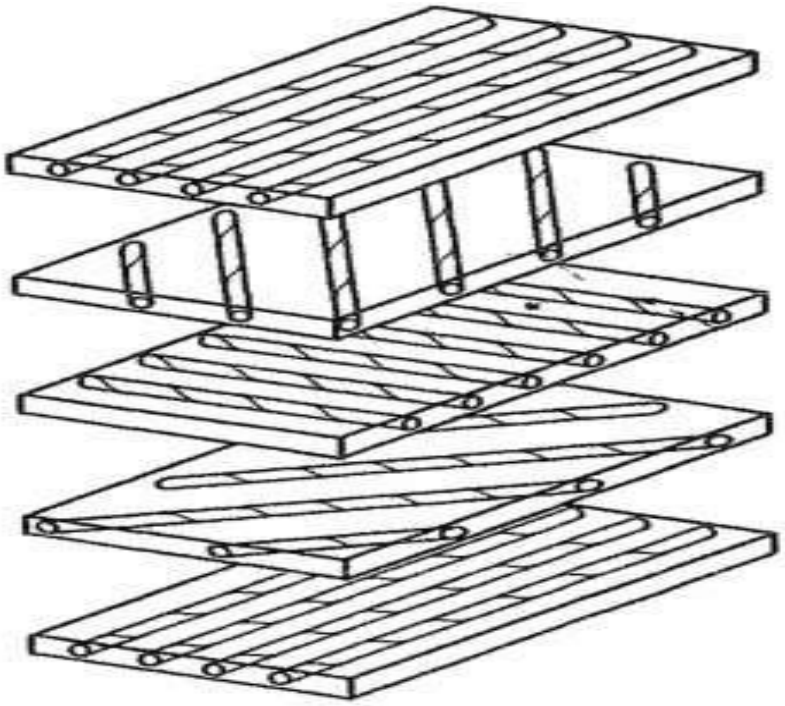


الشكل (2-3) نمطان رئيسيان للرقاقة [59] .

2-5 الصفائح الطبقية(Laminates of Layers):

الصفيحة الطبقية (laminate) هي تنضيد من رقاقات ملتصقة مع بعضها البعض، ولها توجهات متعددة لاتجاهات المادة الرئيسية في الرقاقة كما في الشكل (2-4)، وينبغي ملاحظة أن توجه الألياف ضمن الطبقات في الشكل (2-4) ليس متناظراً بالنسبة إلى السطح الأوسط للصفيحة الطبقية. وتلتصق طبقات الصفيحة الطبقية مع بعضها البعض بواسطة المادة الأساس نفسها التي تستخدم في الرقاقات المنفردة. وإن قسما من المادة الأساس في الرقاقة يغلف سطوح الرقاقة، ويستخدم من أجل لصق الرقاقة بالرقاقات المتجاورة لها دون إضافة المزيد من المادة الأساس. ويمكن أن تتكون الصفائح الطبقية من صفائح من مواد مختلفة. أو من طبقات من الرقاقات المدعمة بالألياف.

إن من أحد الأغراض الرئيسة للتصفيح يكمن في ضبط علاقة متانة وجساءة المادة المركبة بالاتجاه بحيث تناسب بيئة التحميل؛ لأن اتجاهات المادة الرئيسة لكل طبقة يمكن توجيهها حسب الحاجة، فيمكن أن نكون مثالاً على ذلك، وهو توجيه ست طبقات من صفيحة طبقية مكونة من عشرة طبقات وفق اتجاه معين، بينما يتم توجيه الطبقات الأربعة الأخرى بحيث تعمل زاوية 90° مع ذلك الاتجاه، فتكون لدى الصفيحة الطبقية الناتجة متانة وجساءة استطالة اعلى بحوالي 50% في أحد الاتجاهين مقارنة بالآخر[59] .



الشكل(2-4) منظر لبناء الصفيحة الطبقية بدون التصاق الرقاقات [59] .

2-6 الميكانيك الماكروي (Macro-Mechanics of Laminates) للصفيحة:

2-6-1 تركيب الصفيحة : (Laminate Structure)

الصفيحة تتكون من عدد من الطبقات المترابطة مع بعضها البعض بواسطة الراتنج بسماكة الاتجاه. والطبقة قد تتكون من ألياف قصيرة وألياف مستمرة أحادية الاتجاه أو ألياف محاكة ممزوجة بالمادة الأساس (matrix) خصائص الصفيحة بالاتجاه المسيطر من الألياف في كل رقاقة. الطبقات المجاورة لها المادة نفسها والاتجاه نفسه، ويشار لها بأنها مجموعة طبقية.

2-6-2 نظام وصف الصفيحة :

وصف الصفيحة يتضمن التفاصيل الآتية:

1. الاتجاه في كل رقاقة يكون بالنسبة للمحور x .
2. عدد الطبقات في كل اتجاه.
3. التتابع الهندسي الدقيق للطبقات [60].

2-6-3 تصنيف الصفائح : (Laminate of Classification)

يمكن أن تقسم الصفائح على طرائق عدة:

1. الصفيحة المتناظرة : (Symmetric of Laminate)

في الصفيحة المتناظرة يكون توجيه الطبقات متناظرا حول السطح الاوسط للصفيحة وهناك طبقة متماثلة (في المادة ، السماكة، وزاوية توجيه الالياف) وعند تساوي المسافة تحت السطح الاوسط بعض الامثلة على الصفائح المتناظرة .

(0°/45°/90°/90°/45°/0°) ←(0°/45°/90°)s

المستعملة عينة في هذا البحث[60].

2. الصفيحة الطبقية ذات التناظر المتعاكس:(Anti-symmetric Laminate)

لكل طبقة (رقاقة) فوق السطح الأوسط موجهة بالزاوية Θ هنالك طبقة أخرى اسفل السطح الأوسط موجهة بالزاوية -Θ كلا الطبقات متماثلة في الخصائص الميكانيكية والفيزيائية، على سبيل المثال (Θ/Θ-/Θ/Θ-)[62].

يجب أن تمتلك الصفيحة الطبقية متعاكسة التناظر عدداً مزدوجاً من الطبقات اذا كانت الرقاقات المتجاورة تمتلك إشارات متناوبة لاتجاهات خصائص المادة الرئيسية بالنسبة إلى محاور الصفيحة الطبقية. أما إذا كانت الرقاقات المتجاورة لا تمتلك إشارات متناوبة فإن عدد الطبقات ليس من الضرورة أن يكون مزدوجاً [59].

3. الصفيحة الطبقية اللامتناظرة : (Un-symmetric)

الصفيحة عندما تكون لا متناظرة ولا متعاكسة التناظر لا متناظرة مثال على هذه الصفائح .

(0°/45°/90°) ← (0°/0°/0°/90°) تكون صفائح لا متناظرة .

4. الصفيحة شبه المتناظرة موحدة الخواص:(Quasi-isotropic laminate)

هذه الصفيحة تصنع من ثلاثة أو أكثر من الرقاقات متماثلة السمك والمادة مع تساوي زاوية الرقاقات المتجاورة مثال على هذه الصفائح.(0°/± 45°/ 90°)s ←(0°/+60°/-60°).

5. الصفيحة الطبقية أحادية الاتجاه :(Unidirectional Laminate)

كل الصفيحة لها نفس زاوية اتجاه الألياف . مثال على صفيحة أحادية الاتجاه0= Θ في كل طبقات الصفيحة .

6.الصفيحة ذات الطبقات المائلة:(Angle ply Laminate)

زوايا اتجاه الألياف تتناوب الطبقات هي Θ و --Θ هي ليست مساوية للـ °0 و °90 مثال على هذه الصفيحة (-Θ/Θ/Θ/-Θ).

7.الصفيحة ذات الطبقات المتصالبة:(Cross ply Laminate)

زوايا توجيه الألياف يتناوب الطبقات °0 و°90 مثال على تلك الصفيحة (0°/90°/0°/90°) في الصفيحة ذات الطبقات المتصالبة لا يوجد هنالك أقران قص–استطالة [60].

2-7 السلوك الميكانيكي العام لصفيحة طبقية:

تتكون الصفيحة الطبقية من رقاقتين أو أكثر ملتصقتين لتكوين عنصر إنشائي متكامل، ويقترن تحليل الصفيحة الطبقية بسؤالين مهمين هما:

1. ما هي الشروط الواجب أن تحققها الرقاقات كي تصبح صفيحة طبقية.
2. ما هي مدى استجابة الصفيحة الطبقية للحمولات المطبقة عليها أي استجابتها للقوى والعزوم المؤثرة عليها.

حيث يتم توجيه الرقاقات بحيث تشكل الاتجاهات الرئيسة للمادة زوايا مختلفة بالنسبة للمحاور الكلية للصفيحة الطبقية للحصول على عنصر إنشائي قادر على متانة الحمل في اتجاهات متعددة وكنتيجة للتوجيهات الكيفية للرقاقات، ومن الممكن أن لا تمتلك الصفيحة الطبقية اتجاهات رئيسة محددة يكمن سبب تجمع الرقاقات للحصول على صفيحة طبقية في تحقيق أكبر متانة انحناء، هذا ويؤدي ترابط الرقاقات سوية إلى زيادة كبيرة في متانة الانحناء، ويتم فحص الإجهادات بين رقاقات الصفيحة الطبقية والتوصل إلى أن الإجهادات هي من الأسباب المحتملة لفصل الطبقات في بعض الصفائح الطبقية[59].

2-8 الاجهادات ما بين الطبقات(Interface stresses):

تختلف إجهادات الصفيحة الطبقية عن بعضها البعض، وذلك بسبب اختلاف اتجاه الليف في كل رقاقة، وهنا يجب أن تكون إجهادات الرقاقات مختلفة من واحدة إلى أخرى، حيث يكون أكبر معامل في اتجاه الليف واكبر معامل للتمدد الحراري يكون في الاتجاه العمودي على

الألياف وبسبب التناظر تكون الإجهادات في الطبقات الخارجية للصفيحة متماثلة وتتجه إحدى الطبقات الخارجية بالاتجاه x والأخرى باتجاه y .

إن الألياف هي الأكثر جساءة ومتانة من المادة الأساس، فإذا تعرض الليف إلى إجهاد عالي يبدأ الكسر في الليف عند عيب سطحي، ويسبب الليف المكسور إعادة توزيع الإجهادات حول موضع الكسر، ولابد للإجهاد أن يمر انطلاقاً من أحد طرفي الليف المكسور ليجتاز الكسر ويصل إلى الطرف الآخر، حيث إن انتقال الإجهاد هذا يؤدي إلى نشوء إجهادات قص عالية في المادة الأساس عبر مسافة قصيرة من كسر الليف، بعدها يمكن أن يحصل فشل في المادة المتراكبة بطريقتين.

أولاً: يمكن لإجهاد القص في المادة الأساس حول الليف أن يتجاوز قيمة إجهاد القص المسموح به في المادة الأساس، حيث تبدأ قوة الربط بين الليف والمادة الأساس للكسر بسبب القيم العالية لإجهاد القص حتى ينتقل الإجهاد بين الألياف المكسورة.

ثانياً: ينتشر كسر الألياف عبر المادة الأساس من خلال ألياف أخرى مسبباً فشلاً كلياً للمادة المتراكبة، إذا كانت قوة الترابط بين الليف والمادة الأساس قوية بشكل جيد وإذا كانت متانة كسر المادة الأساس عالية عندها يمكن لانكسارات الألياف أن تستمر لتتسبب بتمزق المادة المتراكبة . [59]

2-9 تحليل الإجهادات الحرارية والميكانيكية(Analysis of Thermal and Mechanical Stresses):

إن تحليل الإجهاد الميكانيكي لا يكفي لتحليل الصفائح الطبقية التي قد عولجت عند درجة حرارة مختلفة عن درجة حرارة العمل التصميمية وفي مثل هذه الحالات تظهر الإجهادات الحرارية التي يجب أخذها بنظر الحسبان، وسيتم في هذه الفقرة تكرار مفاهيم تحليل الإجهاد الميكانيكي مع التعديلات الضرورية لتحليل الإجهاد الحراري (Thermoelastic) تكون علاقات الإجهاد الانفعال الحراري المرن غير موحدة الخواص وثلاثي الأبعاد، حيث تكون الانفعالات الكلية تساوي مجموع الانفعالات الميكانيكية والانفعالات الحرارية الحرة من أجل تغير في درجة الحرارة. وإن معاملات التمدد الحراري تؤثر فقط في انفعالات الاستطالة وليس انفعالات القص،

وإن القوى الحرارية تكون قوى حرارية حقاً عندما تكون القوى والانحناءات الكلية مقيدة تماماً أي معدومة.

تستعمل إجهادات الرقاقات في معيار فشل الرقاقة لتحديد جساءة الصفيحة الطبقية حتى أقصى حمل يمكن أن تتحمله الصفيحة الطبقية، تعد نظرية التصفيح التقليدية بما في ذلك الآثار الحرارية بوضوح جوهرية من أجل الوصف الصحيح لسلوك الصفيحة الطبقية، وذلك بسبب عدم التجانس وعملية الشي لتصنيع الصفائح الطبقية حيث تنشأ التفاعلات بين الرقاقات كنتيجة للطريقة التي توضع فيها الرقاقات في الصفيحة الطبقية وعملية التلدين[59].

2- 10 الخصائص الميكانيكية (Mechanical Properties):

إن المواد البوليمرية تعتمد في منافستها للمواد البنائية الأخرى على خصائصها الميكانيكية المرغوبة، وهي تلك التغيرات، أو المقاومة التي تبديها المواد، أو انفعالها بالإجهادات المؤثرة عليها، سواء أكان ذلك أثناء عملية التشغيل أو التشكيل. ويجب على من يتعامل مع البوليمرات، أن يكون ملماً على الأقل، ببعض المعلومات الأساسية المتعلقة بالخصائص الميكانيكية للبوليمرات لغرض معرفة كيفية تغير هذه الخصائص لتلاءم الاستعمالات المحددة لها، وكذلك معرفة السلوك الميكانيكي للمادة اتجاه مجموعة عوامل داخلية وخارجية منها طبيعة الحمل الدوري ودرجة الحرارة والزمن عند الاختبار والطبيعة الكيميائية، ومن العوامل المهمة الأخرى معدل الانفعال (Strain Rate) لما له من تأثير مهم في السلوك الميكانيكي للمواد، إذ يمكن عد مادة مطيلية السلوك عند معدل انفعال واطئ، ولكن عند معدل الانفعال العالي ستصبح الـمادة ذات سلوك ميكانيكي هش. وعليه يمكن تصنيف الخواص الميكانيكية اعتماداً على معدل الانفعال وطبيعة تسليط القوى إلى الخصائص الميكانيكية الساكنة (Static Mechanical Properties)، والخصائص الميكانيكية الحركية (Dynamic Mechanical Properties) [10] ،[61] , [62].

وبذلك يعد اختبار الانضغاط (Compressive)، والانحناء (Bending)، والزحف (Creep) من الاختبارات الساكنة، أما اختبار الصدمة (Impact) فيعد من الاختبارات الحركية[63] , والذي تمت دراسته في هذا البحث هو اختبار الانحناء ثلاثي النقطة.

2-10-1 الإجهاد – الانفعال (Strain - Stress):

إن معرفة تغيرات الإجهاد والانفعال عبر سماكة الصفيحة الطبقية مهمة جداً من أجل تعريف معاملات جساءة الاستطالة والانحناء للصفيحة الطبقية، لذلك نعتبر الصفيحة الطبقية تتكون من رقاقات مترابطة بشكل مثالي، ومع ذلك تعد هذه الروابط رقيقة وبشكل متناه في الصغر وغير قابلة للانفعال بالقص، هذا يعني أن الإزاحات مستمرة عبر حدود الرقاقة بحيث لا يحصل انزلاق رقاقة بالنسبة للأخرى، وهكذا يكون سلوك الصفيحة الطبقية كما لو كانت طبقة واحدة ذات خصائص خاصة، وبعد ذلك تشكل عنصراً انشائيا [59] ولذلك تعد دراسة التغير في أبعاد البوليمر كدالة للإجهاد (Stress) من الخصائص الميكانيكية المهمة لجميع البوليمرات. فعند تسليط جهد ما على أنموذج من البوليمر بسرعة ثابتة وقياس التشوه الحاصل (Deformation) في الأنموذج، أما بدلالة تغير في الطول أو تغير في المساحة أو تغير في الحجم، يمكن الحصول على سلوك البوليمر تحت تأثير الإجهاد [10]. ومن طبيعة منحني الإجهاد – الانفعال (Stress – Strain Curve) يمكن الحصول على معلومات مفيدة جداً عن خصائص البوليمر وأقصى جهد يتحمله الأنموذج، وأقصى استطالة قد تحدث في الأنموذج فضلاً عن الكثير من المعلومات الهندسية المهمة جداً.

ويقصد بالإجهاد –عادة– القوة المسلطة (F) على وحدة مساحة المقطع العرضي للأنموذج (A) (Cross Section Area) ويرمز له عادة بالحرف اللاتيني (δ)، ويمكن التعبير عنها [10]:

$$\Delta\delta = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{A}} - (1-2)$$

أما الانفعال ϵ فهو مقدار التغير النسبي في شكل المادة أو أبعادها نتيجة الاجهاد المطبق عليها [64]. ويقصد بالانفعال نسبة التغير في الطول إلى الطول الأصلي للأنموذج تحت الفحص، ويمكن التعبير عن ذلك كما يأتي:

$$\Delta\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} - (2-2)$$

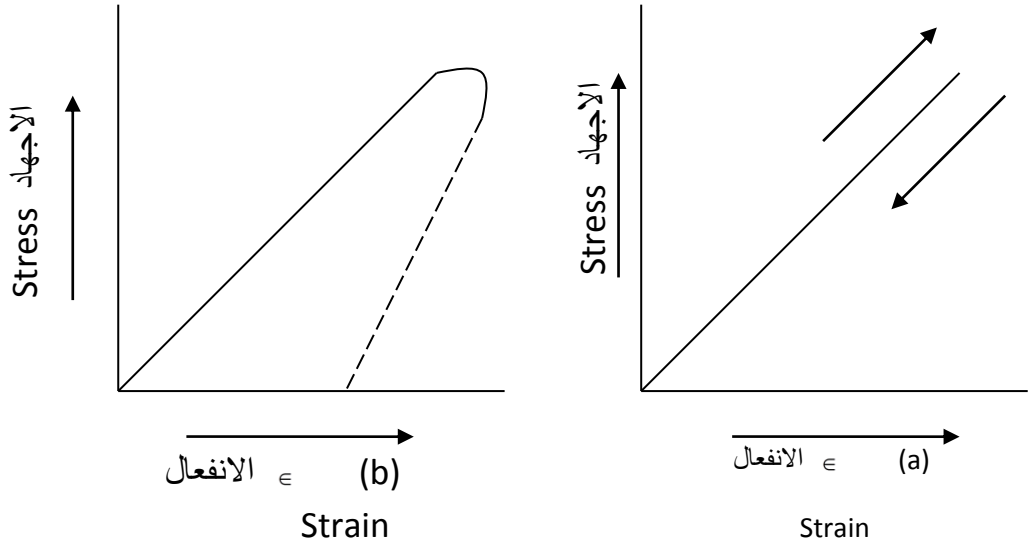
ويكون الانفعال على نوعين:

الانفعال المرن: يكون ذا خاصية عكسية، إذ إنه يتلاشى بعد إزالة الإجهاد المسلط، وقيمة الانفعال تتناسب طردياً مع مقدار الإجهاد المسلط، كما في الشكل (2–5–a) [65].

الانفعال اللدن: هو انفعال ثابت غير عكسي يحدث للمادة نتيجة الإجهاد المسلط بعد حد المرونة،

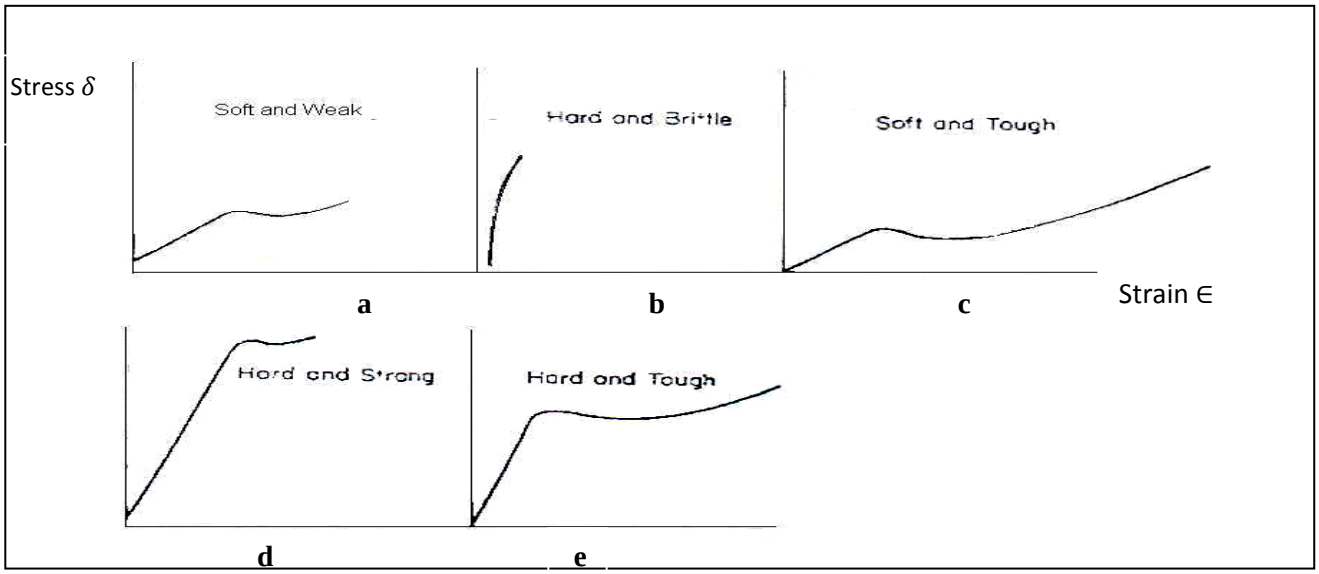
كما في الشكل (2−5− b) . [65]

وهنا يتبادر سؤال انه كيف تستعيد المادة البوليمرية ابعادها الاصلية بعد زوال الاجهاد عنها والجواب على ذلك يكون من خلال الطاقة المخزونة بشكل طاقة مرنة$E=\frac{\Delta\delta}{\Delta\epsilon}$ Elastic) Energy) .



a. الانفعال المرن **b. الانفعال اللدن**

الشكل (2−5) يوضح نوعي الانفعال [65]



الشكل(2–6) يوضح منحنيات (الإجهاد – الانفعال) لبعض الأصناف البوليميرية [10]

a.ليّن وضعيف (Soft & Weak) b. صلد وهش (Hard & Brittle) c.ليّن ومتين (Soft & Tough) d. صلد وقوي (Hard & Strong) e.صلد ومتين (Hard & Tough)

ففي ضوء منحيات الإجهاد والانفعال تقسم المواد البوليمرية على أصناف رئيسة عدة هي [10]:

1. بوليمرات هشة (Brittle)
2. بوليمرات قابلة للسحب (Ductile)
3. بوليمرات مرنة (Elastic polymers)

ويلاحظ من المنحنيات المبينة في الشكل (2– 6 – a) الناتجة من رسم العلاقة بين الإجهاد والاستطالة (Elongation) أن الجزء الأول من المنحني عبارة عن خط مستقيم (Linear)، وأن هذا الجزء يعبر عن المرونة (Elastic Behavior) التي تتسم بها البوليمرات على نحوٍ عام، فإن ميل هذا الجزء من المنحني يمثل معامل المرونة (Elastic Modulus) الذي يمثل النسبة بين الإجهاد (Stress) والانفعال (Strain) فضمن هذه الحدود، عند إزالة الإجهاد عن الأنموذج فإنه يسترجع أبعاده الأصلية؛ لأن الطاقة المصروفة عليه تكون مخزونة بصورة طاقة مرونة. وبتجاوز هذا الجزء فالأنموذج إما أن يتمزق (Fracture) عندما يكون البوليمر هشا (Brittle) (لاحظ المنحني b)، أو يوهن (Yields) عند نقطة معينة في الأنموذج والتي تمثل أضعف نقطة. وبذلك يقل الإجهاد (Stress)، فأعلى جهد يتحمله الأنموذج قبل أن يوهن وتدعى بقوة الشد، حيث إن نقطة الوهن أو نقطة الخضوع تمثل نهاية السلوك المرن في البوليمر. فبعد هذه النقطة تكون التغيرات الطارئة على البوليمر غير معكوسة (Irreversible)،

أي أنه عند إزالة الإجهاد لا يسترجع الأنموذج أبعاده الأصلية، بل يبقى متشوها؛ لأن الطاقة المصروفة هنا لا تستهلك في فك الاشتباك الفيزيائي بين سلاسل البوليمر، وقد تؤدي إلى كسر بعض الأواصر الرئيسة في البوليمر.

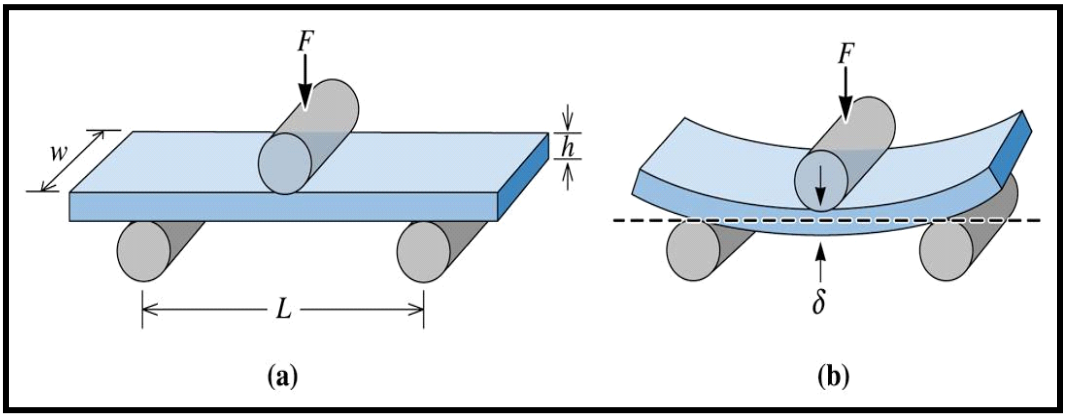
وبعد نقطة الخضوع (Yield Point) تبدأ منطقة الوهن أو الخضوع في الأنموذج بالنمو على حساب طول الأنموذج إلى أن تشمل كل الأنموذج الخاضع للإجهاد، وتلاحظ بعد هذه المرحلة زيادة الإجهاد تدريجياً، ويؤدي ذلك إلى ترتيب سلاسل البوليمر باتجاه محور السحب (Orientation)، وبذلك تزداد قوة الأنموذج، وبزيادة القوة المسلطة على الأنموذج (زيادة الإجهاد) يبلغ الأنموذج مرحلة التمزق (Fracture). ويلاحظ من الشكل (2- 6- C) أن البوليمرات المرنة أو المطاطية لا تعاني ظاهرة الخضوع أو الوهن (Yielding)، بل يزداد طول

الأنموذج ويكون التغيير في مساحة المقطع العرضي للأنموذج على نحوٍ متجانس على طول الجزء المعرض للإجهاد إلى أن تبلغ مرحلة أقصى جهد يتحمله البوليمر المطاطي عندئذ يتمزق النموذج.

2-10 -2 اختبار الانحناء: (Bending Test)

يعد هذا الاختبار من الاختبارات الأساسية للمواد المتراكبة لتحديد خواص المرونة واللدونة ، إذ إن مقاومة الثني للمادة هي قابلية تحمل المادة لقوى الثني المسلطة بصورة عمودية على محورها الطولي [66] .

وكذلك يعد من الاختبارات المعقدة؛ كونه يتضمن أكثر من نوع من الإجهادات مثل إجهاد الشد في طبقات المقطع السفلي، وإجهاد الانضغاط في طبقات المقطع العلوي، وأحيانا تتغلب إحداهما على الأخرى، وتتسبب في فشل المادة ككل إذ إن هنالك بعض العوامل المهمة والمؤثرة في هذا الاختبار وهي: نوع ومعدل التحميل، والمسافة بين المسندين، وإبعاد المقطع العرضي للأنموذج [67] ،[68] وكما مبين في الشكل (2-7).



الشكل(2–7) عينة اختبار الانحناء ثلاثي النقط [69]

وهناك طريقتان لحساب مقاومة الانحناء هي:

1. اختبار الانحناء الثلاثي النقط (Three– point Test)
2. اختبار الانحناء الرباعي النقاط (Four –point Test)

حيث يعد اختبار الانحناء الثلاثي النقاط من أكثر الاختبارات شيوعاً في حساب متانة الانحناء وأكثرها سهولة ويتم الفحص حسب طريقة وصف الجمعية الأمريكية لاختبار المواد (ASTM) [3].

ويتميز اختبار متانة الانحناء الرباعي النقطة عن سابقه بكونه يقلل من احتمالية أن تتأذى عينة الاختبار نتيجة إجهاد الانضغاط ،ويمكن حسابه من المعادلة الآتية [36]:

$$F.S = \frac{3FL}{4bd^2} ----------------------(3-2)$$

إن الانحراف " **Deflection** " يتناسب طردياً مع الحمل المسلط، فعند زوال تأثير الحمل المسلط تسترجع المادة حالتها الأولى، ويستنتج من ذلك أن المادة تخضع لقانون هوك "**Hook's Law**" وان نسبة $\frac{load}{Deflection}$ مقدار ثابت يمثل الميل "**Slope**" إذ يمكن إيجاد قيمة معامل المرونة الإنحنائي من العلاقة (2–4)، وهو يمثل مقياس الصلابة خلال الجزء البدائي من عملية الثني [70].

$$E = \frac{L^3 m}{4bd^3} - (4 - 2)$$

إذ إن :- E : معامل المرونة في الانثناء .

m: ميل الجزء الخطي من منحني (الحمل – انحراف).

إن أعظم إجهاد في ظروف فحص الثني ثلاثي النقاط والحاصل في منتصف المسافة بين المساند يمكن أن يحسب لأي نقطة واقعة على منحني (الحمل – الانحناء) بوساطة العلاقة الآتية [36]:-

$$Flexural\ Strenth = \frac{3FL}{2bd^2} - - - - - - - - - - - - - - - - - - - (5 - 2)$$

إذ إن :-

Flexural strength: متانة الانحناء ووحداته (نيوتن /ملمتر مربع)

F :الحمل (نيوتن)

L: المسافة بين نقطتي التحميل (مليمتر)

b: عرض العينة (مليمتر)

d: سمك العينة (مليمتر)

2-11 ميزات المتانة:

إن أهم ميزة للمتانة تكمن في استخدام نسبة قيمة (المتانة / الوزن) يعني الحصول على وزن منخفض ومتانة عالية، وإن الغاية من المواد المتراكبة هو الحصول على المتانة العالية لذلك فإنه يمكن أن نستخدم الصفيحة الطبقية أحادية الاتجاه في تطبيقات خاصة، على سبيل المثال يمكن أن نجعل جميع الألياف مصطفة في الاتجاه المحوري لدعامة أو عمود حتى نستطيع التكيف مع الحمولات، بينما في أجنحة الطائرات لا نستطيع أن نوجه الألياف في اتجاه واحد ويمكن توجيهها في اتجاهات عديدة للتكيف مع الحمولات من كل الاتجاهات عند استدارة الطائرة، بالطبع يمكن أن تكون الحمولات أكبر في أحد الاتجاهات منها في الاتجاه الآخر وعندها سوف نستطيع تركيب الألياف في الرقاقات لنتكيف مع مستويات الحمولة الأعلى[59]

2-12 تأثير الحرارة على المواد المتراكبة :

تعرف قدرة البوليمر على مقاومة الدرجات الحرارية الكبيرة بالثبات الحراري وتعني تلك الدرجة الحرارية التي يبدا عندها البوليمر بتحرير سوائل أو غازات أو يغير من وزنه الجزيئي أو شكله ، وتنقسم التغيرات الكيميائية التي يمر بها البوليمر عند الدرجات الحرارية الكبيرة على صنفين رئيسين هما [71]:

1- التفاعلات التي تشمل كسر السلسلة الرئيسة في البوليمر .

2- التفاعلات التي يمر بها البوليمر مع الاحتفاظ بسلسلته الرئيسة .

فالنوع الأول يتم عند تعرض البوليمر لحرارة كبيرة فإن الطاقة التي تتولد عن الحركة الحرارية عند جزء من نقاط النظام تعادل أو تزيد على طاقة الأواصر الكيميائية التي تربط ذرات السلسلة وبذلك تحطمها. ومن الجدير بالذكر أن العامل الاهم الذي يحدد ثبات البوليمر هو قوة الأواصر بين الذرات التي تشد هيكل السلسلة التي تقل بوجود ذرات أو مجاميع مرتبطة مع السلسلة.

أما النوع الثاني من التفاعلات فيؤدي إلى إحداث تغيرات في الصفات الفيزيائية والكيميائية للبوليمرات عند تسخينها إلى درجات حرارية كبيرة دون أن تتأثر سلسلتها الرئيسة.

إن خصائص المادة المتراكبة بصورة عامة تتأثر بتغير درجة الحرارة، إذ تؤثر بصورة واضحة على استجابة المادة للإجهادات المسلطة عليها، أي أن منحنيات (Stress-Strain) تتغير بتغير درجات الحرارة.

إنّ البوليمرات تظهر سلوكاً مطيلياً (Ductile Behavior) عندما تتعرض للإجهادات البطيئة والبوليمرات نفسها تظهر سلوكاً هشاً(Brittle Behavior) عندما تتعرض للإجهادات السريعة، فهي مشابه لسلوكها بتغير درجات الحرارة حيث تسلك سلوكاً هشاً عند درجات الحرارة الواطئة[72].

2-13 درجة الانتقال الزجاجي(Glass transition degree)

تعرف درجة الانتقال الزجاجي هي تلك الدرجة الحرارية التي ينتقل عندها البوليمر من مادة شديدة الصلابة إلى مادة مرنة ويكون البوليمر طريا ومرنا عند درجة اعلى من درجة حرارة الانتقال الزجاجي [37]. حيث تتغير خصائص البولميرات عند درجة الانتقال الزجاجي يشكل

كبير مثل معامل المرونة ،معامل التمدد الحراري ،السعة الحرارية ، معامل الانكسار والخواص الكهربائية [63].

يمكن أن يكون التغير الكبير في خواص البوليمر عند درجة حرارة الانتقال الزجاجي (T_g) إلى أنه في درجة الحرارة التي تكون أقل من (T_g) تكون الجزيئات في البوليمرات لا متبلورة ولاصلبة، حيث تكون عملية التآصر بين الجزيئات قوية لكن عندما تزداد درجة الحرارة، فإن معظم هذه الأواصر تتكسر ويصبح البوليمر طرياً ومشوها من دون أن يتكسر [63].

تمتلك اللدائن مجموعة تحولات عديدة تحت تأثير ارتفاع درجات الحرارة، وعند درجات حرارة أقل من درجة الانتقال الزجاجي تكون المواد اللدائنية عبارة عن مواد زجاجية قوية وصلبة، لذا تتحول عند الانتقال الزجاجي إلى مادة لدائنية لينة ومرنة، ومن ثم تتحول إلى الحالة المطاطية في حالة اللدائن غير المطاوعة للحرارة حيث تكون سوائل عالية اللزوجة في حالة اللدائن المطاوعة للحرارة [10] ,[9]

2-14 العيوب الهيكلية للمواد المتراكبة: (Structural of Composite Materials) Defects

يمكن تصنيف العيوب الهيكلية (structural defects) للمواد المتراكبة بما يأتي [73]:-

1. الشقوق الرفيعة (يمكن أن تكون قد تكونت نتيجة عدم التطابق الحراري بين المركبات) إجهادات المعالجة (curing stresses) أو امتصاص الرطوبة خلال العملية.
2. الفجوات (Voids).
3. مناطق عدم التاصر (regions debonded).
4. المناطق الغنية بالمادة الأساس (matrix (الفقيرة بمواد التدعيم).
5. مناطق التدفق (أي انفصال المواد المتراكبة إلى طبقات رقيقة).

2-15 الكسر (Fracture):

عملية انفصال العينة إلى جزيئين أو أكثر تحصل تحت تأثير قوة خارجية، وتتضمن مرحلتين، وهما تكوين الشق (**Formation Crack**) انتشار الشق (**Crack Propagation**)، وهناك عوامل عدة تؤثر في الكسر منها [14],[74]:

1- درجة الحرارة.

2- طبيعة المادة.

3- معدلات الانفعال.

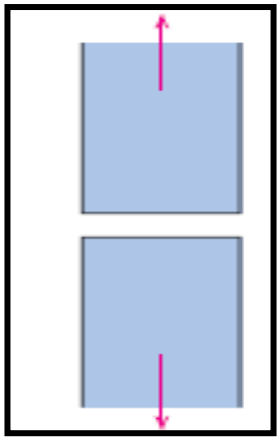
4- سرعة الحمل المسلط.

5- طبيعة الإجهاد المؤثر.

إذ يعتمد شكل الشق على ميكانيكية الكسر ويمكن تصنيف الكسر إلى نوعين[14]:-

2-15-1 الكسر الهش (Brittle Fracture):

ويعد هذا النوع من أخطر أنواع الكسر؛ لأنه يحدث بسرعة دون أن يسبقه تشوه لدن مرئي إذ يكون نمو الشق (**Crack Propagation**) بشكل سريع. وإن اتجاه انتشار حركة الشق تكون تقريباً متعامدة مع اتجاه إجهاد الشد المسلط على المادة، إذ يكون سطح الكسر مستوياً ولماعاً [14] كما في الشكل (2-8).



الشكل (2-8)الكسر الهش[14].

2-15-2 الكسر ألمطيلي (Ductile Fracture)

إن هذا النوع من الكسر يكون أقل خطورة، وأقل سرعة من النوع الأول، إذ يظهر تشوه لدن واضح قبل الكسر، ويحدث هذا النوع من الكسر - غالباً - نتيجة تسليط إجهاد عالي على المادة. ويتمايز هذا النوع من الكسر بكون نمو الشق فيه بطيء، إذ تمتص العينة طاقة عالية

قبل الكسر، كذلك يكون شكل الكسر ليفياً (**Fibrous**) ومعتماً (**Dull**) وبشكل (**Cup – Cone**) وكما مبين بالشكل (2–9)[68].

الشكل(2–9)الكسر المطيلي [14].

وعندما تكون المادة المطيلية خاضعة لإجهاد شد متزايد بشكلٍ تدريجي، فإنها ستتصرف بشكل مرن عند حد معين للإجهاد، يليها ظهور التشوه اللدن.

2–16 العوامل الهندسية المؤثرة على التقوية بالألياف والدقائق

(Engineering Factors Effected on Reinforcing by Fibers and Particles)

هنالك العديد من العوامل التي يجب أن تأخذ بنظر الاعتبار عند تصميم المواد البوليميرية المدعمة بالألياف والدقائق ومن أهم هذه العوامل هي:–

2–16–1 الكسر الحجمي (Volume Fraction)

تعتمد الخواص الميكانيكية للمواد المتراكبة بصورة أساسية على طبيعة مكوناتها وبالاعتماد على قاعدة الخلط (Mixture Rule)، حيث وجد أن قابلية المادة المتراكبة على تحمل الإجهادات المسلطة عليها تعتمد وبصورة أساسية على معامل المرونة، ومقاومة مواد التدعيم، لذلك يمكن الحصول على أفضل مقاومة بالاعتماد على الكسر الحجمي للألياف والدقائق المستخدمة في التدعيم [75]، فقد لوحظ أن الكسر الحجمي للألياف والدقائق يؤثر وبصورة مباشرة على الخواص الميكانيكية للمواد المتراكبة (مقاومة الشد، الإنحناء، معامل المرونة، الصلادة) [76].

في هذا البحث تم حساب الكسر الوزني للألياف في المادة المتراكبة وذلك بالاعتماد على المعادلة الآتية [77]

$$\psi = \frac{w_f}{w_c} \quad (6-2)$$

حيث ψ يمثل الكسر الوزني للمادة المتراكبة

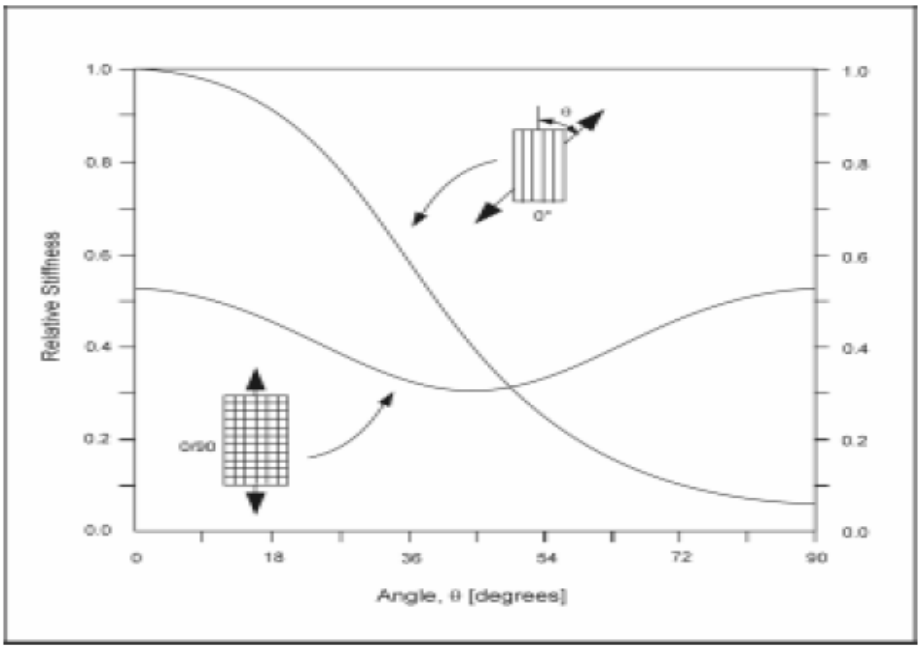
w_f، w_c وزن كل من الألياف والمادة المتراكبة.

2-16-2 طول الليف الفعال (Effective Fiber Length)

قد تتعرض المواد المتراكبة المدعمة بالألياف غير المستمرة (Discontinuous) إلى الفشل أحياناً أثناء التعرض لأي حمل؛ لأن خواص هذه المواد غير خاضعة لقاعدة الخلط لأن طول هذه الألياف أقل من الطول الحرج، والتقوية تكون غير فعالة ما لم يؤخذ بنظر الاعتبار طول الليف الذي يجب أن يكون أكبر من طول معين يسمى بالطول الحرج (Critical Length) الذي يمثل أقصى طول لليف يتحمل الإجهاد المسلط عليه بدون أن ينفصل عن المادة الأساس (Matrix) وعندها يكون طول الليف مؤثر وفعال في المادة المتراكبة [10].

2-16-3 أتجاه الألياف (Fiber Orientation)

تعد عملية ترصيف وترتيب الألياف في المواد المتراكبة من العمليات المهمة جداً وذات تأثير كبير على الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمواد المتراكبة [78]. فقد يحدث عدم تراص الألياف بشكل جيد أثناء عملية التصنيع بسبب قصرها، وهذه هي أهم المشاكل التي تواجه المهندس أثناء عملية التقوية بالألياف، فاتجاه الألياف بالنسبة لاتجاه الحمل المسلط يؤثر تأثيراً كبيراً على خواص الشد للمواد المتراكبة وخصوصاً على مقاومة الشد له [59]، والشكل (2-10) يوضح تأثير اتجاه الألياف على الجساءة النسبية (Relative Stiffness) لمادة متراكبة مدعمة بألياف أحادية المحور (Unidirectional) وأخرى ثنائية المحور (Biaxial).



الشكل(2−10) يوضح اختلاف قيم الجساءة النسبية (Relative Stiffness) مع اختلاف الزاوية بين الألياف والحمل المسلط على مادة متراكبة مقواة بحصيرة ألياف أحادية الاتجاه (Unidirectional) وأخرى ثنائية المحور (Biaxial) [79].

فقد لوحظ أن قيم مقاومة المادة المتراكبة تكون أعظم ما يمكن عندما يشكل التحميل زاوية ما بين $(0^o - 8^o)$ مع محور الألياف وتبدأ القيم بالإنحدار الشديد عندما تكون الزاوية أعلى من (8^o) وتدعى هذه الزاوية بالزاوية الحرجة (Critical Angle) [59].

أما عندما تكون الألياف طويلة ومرتبة باتجاه واحد، فأنها تعطي خواص غير متساوية (Anisotropic) للمادة المتراكبة حيث تكون الخواص جيدة باتجاه الألياف وغير جيدة بالاتجاهات الأخرى [75] .

وأما إذا كانت الألياف مرتبة بصورة عشوائية (Random)، فإن مقاومة الشد والخواص الأخرى متساوية في جميع الاتجاهات، وهذا الترتيب يستخدم عموماً في صناعة الخوذ والحقائب .. [57]

2−16−4 نسبة طول الليف إلى قطره (النسبة الباعية) (Aspect Ratio)

تعرف النسبة الباعية بأنها نسبة طول الليف Length إلى قطره Diameter (l/d)، فكلما كانت النسبة الباعية كبيرة تحسنت خواص المادة المتراكبة؛ لأن الفشل الذي يحدث في الألياف يعود إلى وجود عيوب سطحية، وتقليل هذه العيوب من خلال جعل القطر صغير قدر الإمكان،

سيعطي الليف مساحة سطحية صغيرة وبذلك سوف تقل العيوب المتكونة في المادة المتراكبة [79] [80] . أما إذا كانت النسبة الباعية قليلة فإن هذا يؤدي إلى وجود صعوبات في التقوية وعدم الحصول على خواص ميكانيكية جيدة للمواد المتراكبة، وأن النسبة الباعية المفضلة هي (10:1) [10] .

الفصل الثالث

الجانب العملي

الفصل الثالث

3-1 الجانب العملي:

يتضمن هذا الفصل الجانب العملي، ويشمل تعريف المواد الأولية المستعملة في تحضير المادة المتراكبة البوليمرية مع إيضاح خواصها، وصفاتها العامة، وبيان أهمية دورها ضمن المادة المتراكبة، وكيفية تحضير العينات الخاصة بالاختبار الذي تم إجراؤه، وطريقة تحضير القوالب الخاصة بتصنيع المواد المتراكبة، فضلاً عن عرض بعض الصور لعينات الاختبار والصور التوضيحية لهذه العينات وأبعادها، مع الإشارة إلى المعلومات الخاصة بالأجهزة المستعملة في الدراسة من حيث نوعها وجهة تصنيعها مع الصور الفوتوغرافية.

3-2 المواد المستعملة في البحث:

3-2-1 مادة الأساس: (Matrix Material)

وتقسم على مادتين في بحثنا هذا وهما:

أولاً : راتنج البولي استر غير المشبع: Unsaturated Polyester Resin (UP)

في هذا البحث يتم استخدام راتنج البولي استر غير المشبع (UP) الذي تم صناعته في مؤسسة(SIR) السعودية، وهو من المواد المتصلدة حرارياً التي تستخدم كمادة لاصقة في الصناعات، ولسلاسله تركيب متشابك (Cross-linked) وهو على شكل سائل شفاف وردي اللون ذي رائحة قوية ومميزة، يتصلب ذلك الراتنج ويأتي ليصبح بالوضعية الصلبة، وهذا بالحاق المصلد (Methyl-Ethyl Keton Peroxide) ويرمز له بالرمز (MEKP) من نوع مثيل اثيل كيتون بيروكسيد وبنسب خلط وزنية (2:100) للاستحواذ على المادة الأساس (Matrix)، حيث ينشأ التفاعل أثناء طرد السخونة الخاصة بالتفاعل قبل حدوث التكوين الجلاتيني، وعندها يتم التبدل إلى مادة جيلاتينية (Gel) في وقت معين بدرجة حرارة الغرفة، ولزيادة سرعة التصلب للراتنج استخدمت مادة الكوبلت (Co-Catalyst)، وهي مادة غامقة اللون بصورة سائل تعمل على هيأة قطرات كعامل محفز ونسبة إضافة 0.5 g من المعجل لكل 100 g من الراتنج (البولي استر)، وعند زيادة نسبة إضافة المعجل. سوف يؤدي إلى حدوث عملية التصلب الفجائي، وعند الانتهاء من إضافة المصلد والمعجل إلى الراتنج تبدأ عملية خلط المزيج مباشرة

بواسطة الخلط اليدوي لمدة (3 – 5) دقيقة، ويتم تحريك المزيج بواسطة قضيب زجاجي إلى أن يتجانس الخليط، وعند تجاوز هذه المدة الزمنية تصبح لزوجة الخلطة عالية جداً، وترتفع درجة حرارتها مما يؤدي إلى تسريع عملية التصلب، وهذا ما يعيق عملية الصب فضلاً عن احتواء المنتوج النهائي على فقاعات هوائية عالية.

إن التفاعل المسبب لتصلب الخلطة هو من النوع الباعث للحرارة(Exothermic Reaction) أي انبعاث حرارة في أثناء عملية الربط التشابكي (Cross Linking Process)، لذا يجب أن يتم الخلط داخل أوعية ذات مساحة سطحية مناسبة، وأن تكون مادة الوعاء غير عازلة للحرارة لضمان انتقال حرارة التفاعل إلى المحيط الخارجي.

يمتاز راتنج البولي استر غير المشبع بخواص ميكانيكية جيدة واستقرارية أبعاد، وقابلية ترابط جيدة مع مواد أخرى مختلفة، وعازلية كهربائية وحرارية جيدة، وجودة سطح بعد التصلب.

والجدول(3 – 1) يبين بعض خواص راتنج البولي استر غير المشبع في البحث الحالي.

جدول (3– 1) خصائص راتنج البولي استر غير المشبع [21]

معامل المرونة (Gpa)	مقاومة الانحناء (MPa)	معامل التمدد الحراري *10–6	التوصيلية الحرارية W/m)	الكثافة (kg / m^3)
4	**130**	**180**	**0.17**	**1200**

ثانياً: الإيبوكسي (EPOXY):

راتنج الايبوكسي نوع سيكادور.5 (Sikadur) ، وهو من الرانتجات غير المطاوعة للحرارة، ويتميز هذا الراتنج بخواص عديدة منها امتلاكه خاصية التصاق عاليةAdhesive (High) ولزوجته المنخفضة ومقاومته الكيميائية العالية (Resistant) (High Chemical) ومعدل زحف واطئ (Low Creep). ويمكن بلمرته وتحوله للحالة الصلبة، وذلك بإضافة المصلد (Hardener) من نفس نوع الراتنج، إذ يتميز المصلد بكونه سائلاً خفيفاً ذا لزوجة وكثافة

واطئتين ولون شفاف. إن نسبة المصلد إلى ألراتنج هي (3:1) حيث يتم مزجه ويخلط بالخلاط الكهربائي (الدريل) لمدة دقيقة واحدة، ولإزالة الفقاعات الهوائية من المزيج المتجانس نضع الإناء الذي يحتوي على المزيج المتجانس في إناء فيه ماء حار درجة حرارته بحدود 60 درجة مئوية حيث تبدأ الفقاعات الهوائية بالظهور من أعماق السائل إلى السطح وتجتمع على شكل دائرة بعدها تختفي الفقاعات.

جدول (3-2) يبين الخواص الميكانيكية للايبوكسي من الشركة المصنعة [81]

Compressive strength	53 N/mm²
Flexural strength	50N/mm²
Tensile strength	25N /mm²

3-2-2 مادة التدعيم:

الألياف الزجاجية (Glass Fibers):

استعملت في هذا البحث ألياف الزجاج نوع (E-glass) كمواد تقوية للوسط الراتنجي بصورة حصيرة ألياف زجاجية مستمرة وبمعدل قطر الشعيرة (Filament) لحصيرة الألياف الزجاجية (13 µm).

3-3) تحضير العينات: Preparation of samples)

تم تحضير المصبوبات للمادة المتراكبة باستخدام تقنية القولبة اليدوية (Hand lay-up) وتتم عملية تحضير المصبوبات بعدة خطوات وهي كما يأتي:-

3-3-1 تهيئة القوالب:

وتشتمل إعداد قالب خاص لعملية الصب، وهو عبارة عن لوح من الزجاج بأبعاد (30×30) سم يمثل قاعدة القالب يغلف بالورق الحراري الشفاف (وذلك لمنع التصاق الراتنج على اللوح الزجاجي وسهولة إخراج المصبوبات) بحيث يكون اللوح موضوعاً على درجة عالية من الاستواء (ويتم التأكد من استواء السطح بوساطة ميزان التسوية)، إما جوانب القالب فتتكون من مساطر زجاجية بالسمك المطلوب تغلف باللاصق الشفاف الحراري، كونه مادة عازلة

لضمان عدم التصاق الراتنج على المساطر الزجاجية إذ يصبح شكل القالب كما مبين في الشكل (3- 1).

الشكل(3-1) يبين القالب المستخدم في تصنيع العينات

3-3-2 عمل العينات:

بإمكاننا أن نلخص عملية تحضير وصب العينات بالخطوات الآتية:

1- يتم وزن كمية من مادة الايبوكسي على وفق حجم القالب المصمم، وتتم إضافة المصلد بنسبة (3:1)، كذلك يتم وزن كمية من مادة البولستر بمقدار ما ذكر لمادة الايبوكسي حيث تتم إضافة المصلد إلى البولستر بالنسبة (2:100).

2- يتم وزن كمية من مادة التدعيم، وهي ألياف الزجاجية نوع (E-glass) وبحسب الكسر الوزني، حيث يتم وزن الألياف بالميزان الحساس حسب أبعاد القالب.

3- تتضمن المصبوبة مادة متراكبة مكونة من البولي استر غير المشبع المدعم بألياف الزجاج. وأيضا تتكون المصبوبة الخاصة للايبوكسي المدعم بالألياف الزجاجية من مادة متراكبة، حيث المستعملة بأبعاد(Woven Roven) تضمنت العملية تقطيع حصيرة الياف الزجاج ووزنت

الياف الزجاج بحيث تحقق الكسر الوزني ،12% ،25% cm(25×25) بدرجة 50 °C بعد ذلك يتم وضعها في المجفف الكهربائي(Oven) لفترة (5) دقائق ، لغرض إزالة الرطوبة منها، لضمان عدم تكون سطح فاصل ما بين مادة الأساس ومادة التدعيم، وكذلك يتم سحب خيوط الليف من الحصيرة التي تكون فيها الخيوط متعامدة من أحد الاتجاهات لنكون أليافاً زجاجية باتجاه واحد حيث يتم تثبيت الخيوط بمادة لاصقة (تيب) كما في الشكل أدناه، بعد ذلك تجرى عملية ترتيب الألياف في القالب بنظام طبائقي متعاقب أي ستة طبقات ألياف زجاجية، وتصب فوقها المادة الراتنجية من أحد أطراف القالب لمنع تكوين فقاعات هوائية، بحيث تتوزع على نحو متجانس في القالب، وتضغط بصورة عمودية على مستوى قاعدة القالب برولة الطلاء لغرض طرد الفقاعات، ولغرض إشباع الألياف بالمادة الراتنجية من كل جوانب القالب للوصول إلى السمك المطلوب.

وبعد الانتهاء من عملية الصب نضع اللوح الزجاجي (غطاء القالب) على المادة المتراكبة لغرض انتظام السمك حيث تكون المسافة بين الالياف ملمتر واحد وسمك الطبقة ملمتر واحد وسمك العينة (3mm)، بعد ذلك تجري عملية ترتيب الألياف في القالب بنظام طبائقي لثلاث طبقات فتتم بمقدار ما ذكر لنظام الست طبقات، ويجب أن يكون القالب بشكل مستوي حيث نتأكد من استواء القالب بواسطة ميزان التسوية.

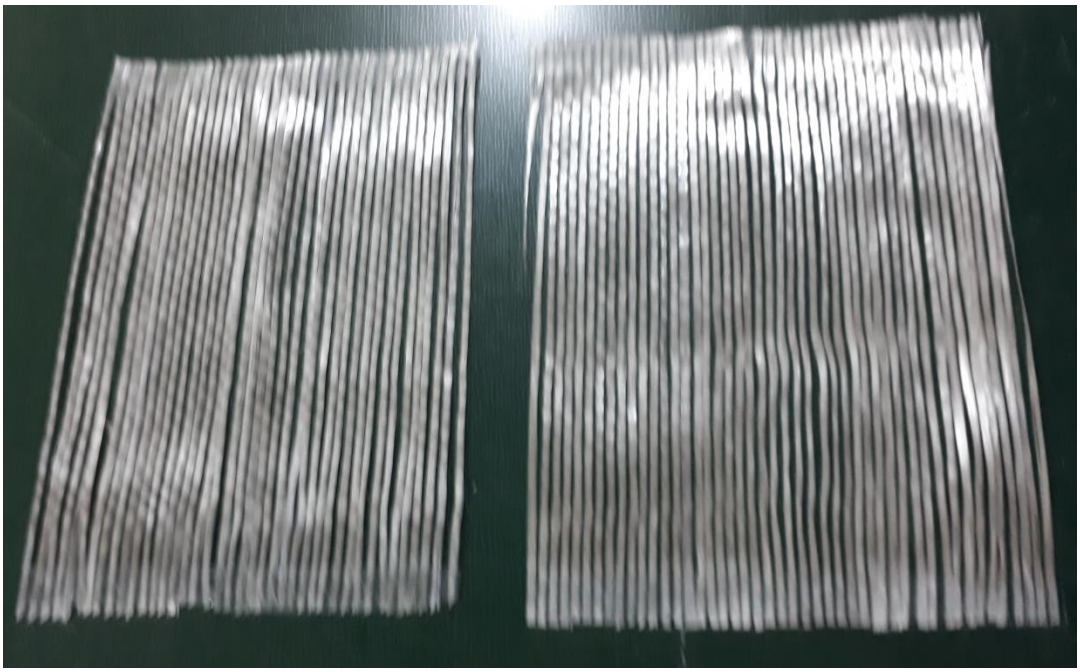
4- لكي تتصلب بشكل نهائي يجب أن تترك المصبوبة في القالب مدة (24) ساعة قبل إخراجها من القالب، هذا بالنسبة للايبوكسي ألياف زجاجية، أما بالنسبة للبولستر ألياف زجاجية فتترك المصبوبة في القالب لمدة (4) ساعات لكي تتصلب بشكل نهائي.

5- ما ورد أعلاه للمصبوبات بدرجة (25 °C)، أما في درجات الحرارة (125 , 100 , 50) درجة مئوية، فتم وضع المصبوبات في فرن كهربائي بهذه الدرجات الحرارية وكما مبين في الشكل (– 33)، فتتم معالجة المصبوبة معالجة سريعة (Post Curing) لمدة أربعة ساعات داخل الفرن، حيث تبدأ درجة الحرارة بالارتفاع التدريجي، لتلافي الصدمة الحرارية. بعد انتهاء الزمن المقرر للمصبوبة داخل الفرن، تترك المصبوبة في الفرن إلى اليوم الذي يليه لضمان الهبوط التدريجي لدرجات الحرارة.

.(ASTM D-790)

6- يتم تقطيع العينات على وفق المواصفة القياسية المعتمدة في التصنيع التي كانت على شكل نماذج مستطيلة بأبعاد (135ملم×10ملم) باستعمال منشار شريطي منشار تقريم الشائع تسميته في الأسواق. المحلية ذي أسنان ناعمة، ألماني المنشأ، وذلك حتى لا يهتز في

أثناء قطع عينات فحص الانحناء، ولذلك فإن نعومة أسنان المنشار الحادة سوف تعمل على تجنب التشوهات الحاصلة في القطع، أما عند مرحلة الضبط للأبعاد فإنه يتم باستخدام أوراق التنعيم ذات القياس220، وعند ذلك تتم عملية الصقل بأوراق التنعيم قياس 400، لكي تصبح العينات جاهزة للفحص والاستخدام .وتم استخدام الالياف الزجاجية كما في الشكل(3-2)



الشكل (3-2) يوضح الياف زجاجية احادية الاتجاه

الشكل (3-3) الفرن المستخدم لتلدين العينات

3-4 الأجهزة المستعملة:

يتضمن هذا البند استعراضاً لمجموعة الأجهزة الخاصة بالاختبارات الميكانيكية المستعملة في الدراسة وطريقة الفحص فيها.

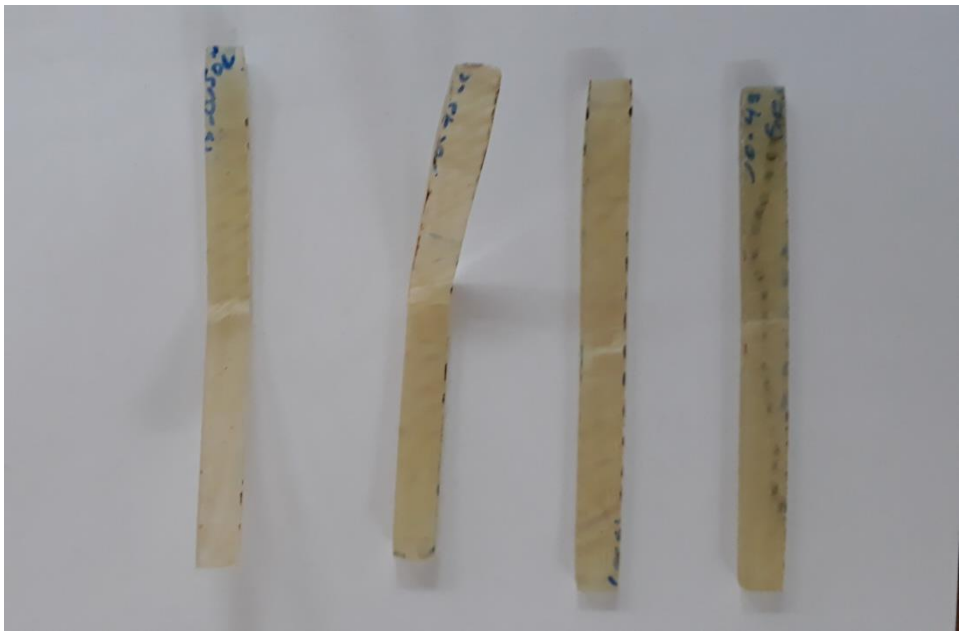
3-4-1 جهاز اختبار الانحناء (Bending Test Instrument):

لغرض حساب أعلى قوة للكسر وحساب متانة الانحناء لجميع العينات استعمل جهاز الاختبار الثلاثي النقاط (Three Points Test). مبدأ عمل الجهاز يتضمن تثبيت العينة من

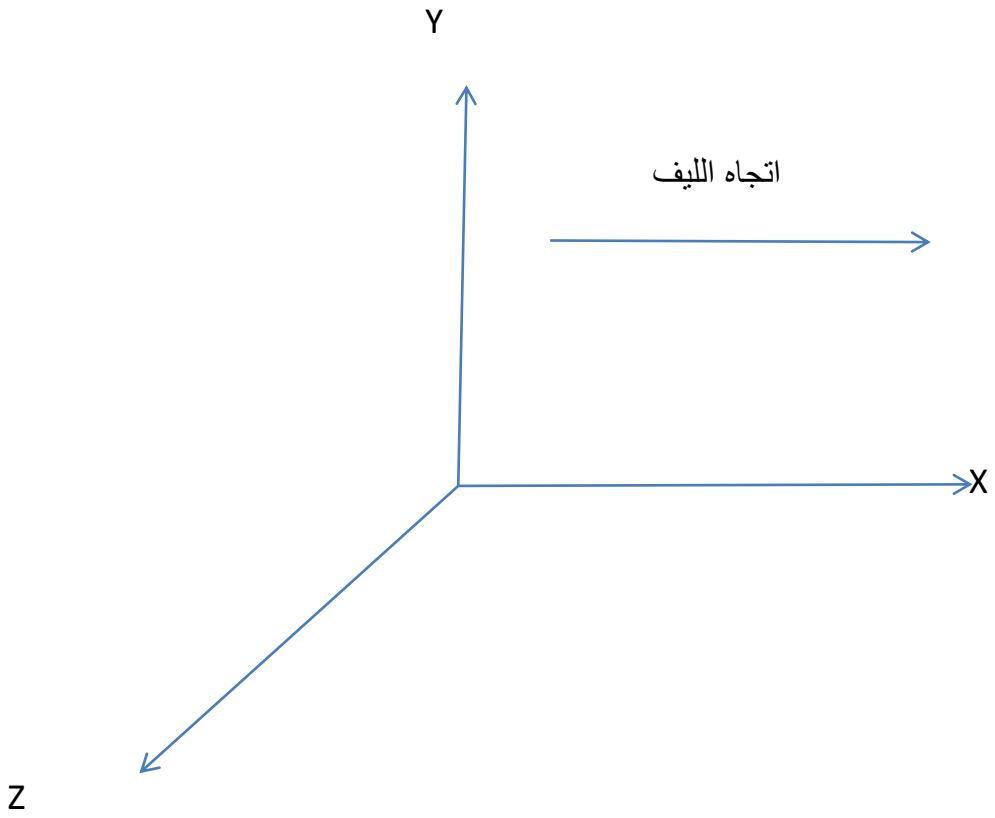
طرفيها على مرتكزين، ويتم تسليط حمل على العينة بصورة تدريجية بسرعة 5mm/min يسلط الحمل عند منتصف العينة مما يسبب انحناءها تدريجياً . وعن طريق جهاز الحاسوب المربوط في الجهاز تظهر المعلومات حول العينة من قوة الحمل، والإجهاد، والانفعال، والاستطالة، ومتانة الانحناء، ومع مرور الزمن تنحني العينة تدريجياً إلى أن يحدث الفشل النهائي للعينة. ويبين الشكل (3 –4) جهاز الفحص الميكانيكي العام المسمى لاري (LARYEE) صيني المنشأ، وأقصى حمل له 50kN لمتانة الانحناء الموجود في الجامعة التكنولوجية في مختبر قسم هندسة المواد.

الشكل(3-4) يبين العينة في جهاز اختبار متانة الانحناء

الشكل (3- 5) صور فوتوغرافية لعينات الانحناء قبل الكسر



الشكل(3-6) صورة فوتوغرافية لعينات الانحناء المستعملة بعد الكسر



الشكل (3-7) يمثل اتجاه الليف باتجاه طول العينة الزاوية 0^0

الشكل أعلاه يمثل اتجاه الليف باتجاه المحور (X) الذي يمثل الزاوية 0^0 والاتجاه (Y)الذي يمثل اتجاه الزاوية 90^o العمودي على العينةالاتجاه (Z)الذي اتجاه (45^o)

الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

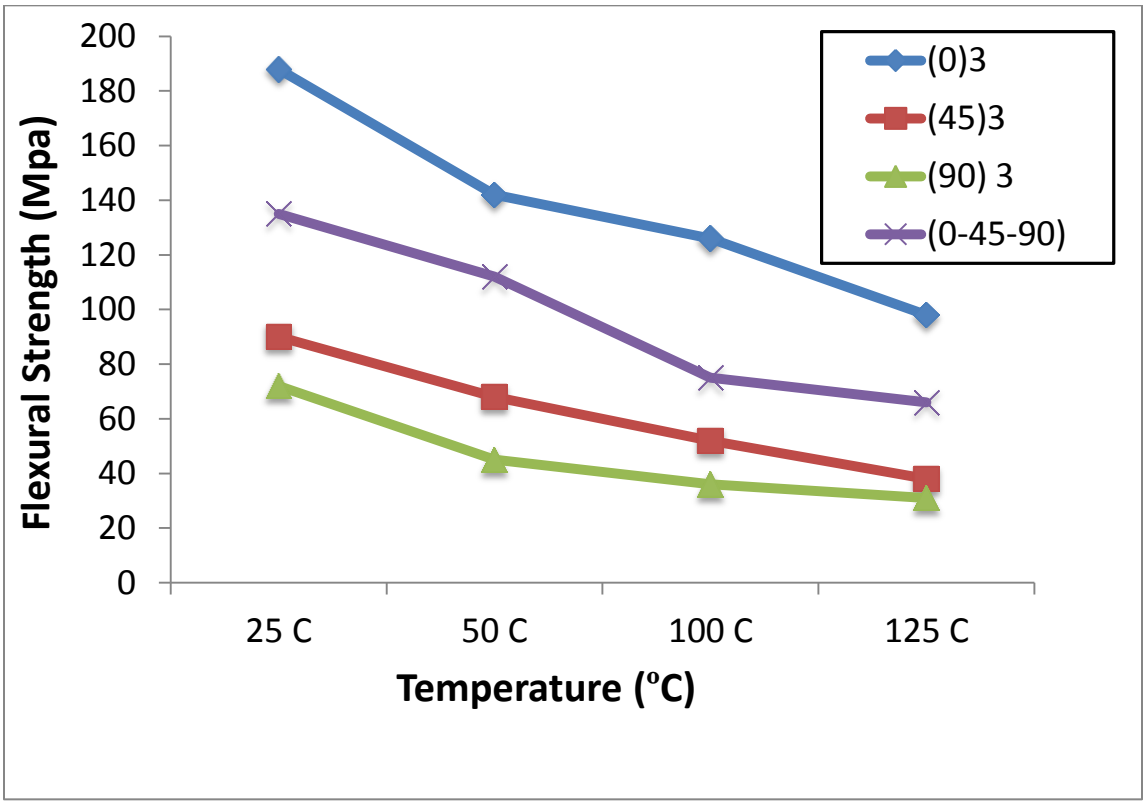
الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

1-4 المقدمة : (Introduction)

يستعرض هذا الفصل النتائج والحسابات الخاصة باختبار متانة الانحناء (Flexural strength) ومناقشتها عند درجات الحرارة المختلفة والزوايا المختلفة التي استخدمت في البحث وتفسيرها عن طريق الجداول والمنحنيات البيانية لغرض التعرف على خواص المواد المتراكبة الصفائحية المدعمة بالألياف الزجاجية التي تم تحضيرها في هذه الدراسة .

4-2 تأثير درجة الحرارة على المتانة لعينات البولي استر الياف الزجاجية لـ (3) طبقات لزوايا مختلفة .

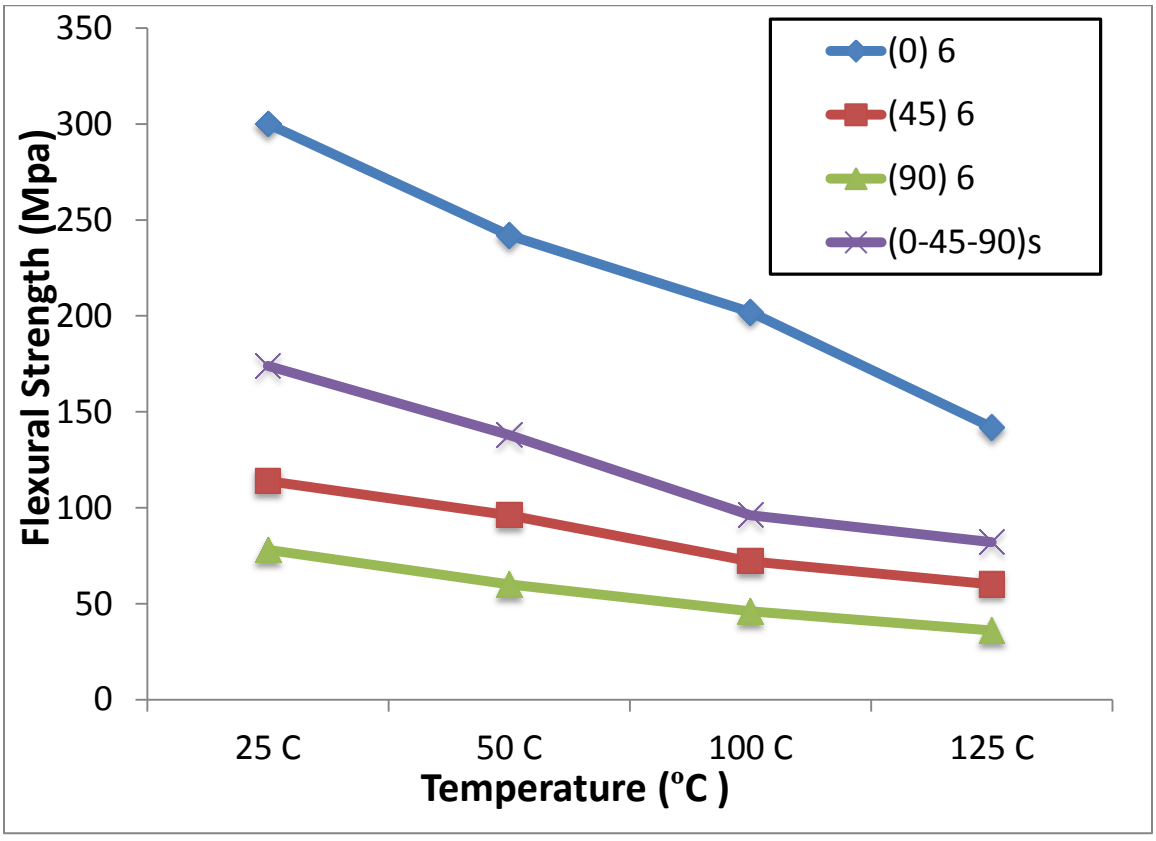


الشكل (4-1) يبين تأثير درجة الحرارة والزوايا على المتانة لعينات البولي استر ألياف زجاجية لثلاث طبقات .

الجدول (1) قيم متانة الانحناء (F.S) لجميع العينات عند درجات حرارية مختلفة لعينات البولي استر الياف زجاجية لثلاث طبقات

المادة المتراكبة الصفائحية	ترتيب الألياف حسب الاتجاه	$25^{\circ}C$	$50^{\circ}C$	$100^{\circ}C$	$125^{\circ}C$
		اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
UP+GF	$[0^{\circ}]_3$	188	142	126	98
UP+GF	$[45^{\circ}]_3$	90	68	52	38
UP+GF	$[45^{\circ}]_3$	72	45	36	31
UP+GF	$[90^{\circ}\ 45^{\circ}0^{\circ}]$	135	112	75	66

4-3 تأثير درجة الحرارة على المتانة لعينات البولي استر الياف الزجاجية لـ (6) طبقات لزوايا مختلفة .



الشكل (4- 2) يبين تأثير درجة الحرارة والزوايا على المتانة لعينات البولي استر الياف زجاجية لست طبقات .

الجدول (2) قيم متانة الانحناء (F.S) لجميع العينات عند درجات حرارية مختلفة لعينات البولي استر الياف زجاجية لست طبقات .

المادة المتراكبة الصفائحية	ترتيب الالياف حسب الاتجاه	$25^{\circ}C$	$50^{\circ}C$	$100^{\circ}C$	$125^{\circ}C$
		اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
UP+GF	$[0^{\circ}]_6$	300	242	202	142
UP+GF	$[45^{\circ}]_6$	114	96	72	60
UP+GF	$[45^{\circ}]_6$	78	60	46	36
UP+GF	$[90^{\circ}\,45^{\circ}0^{\circ}]s$	174	138	96	82

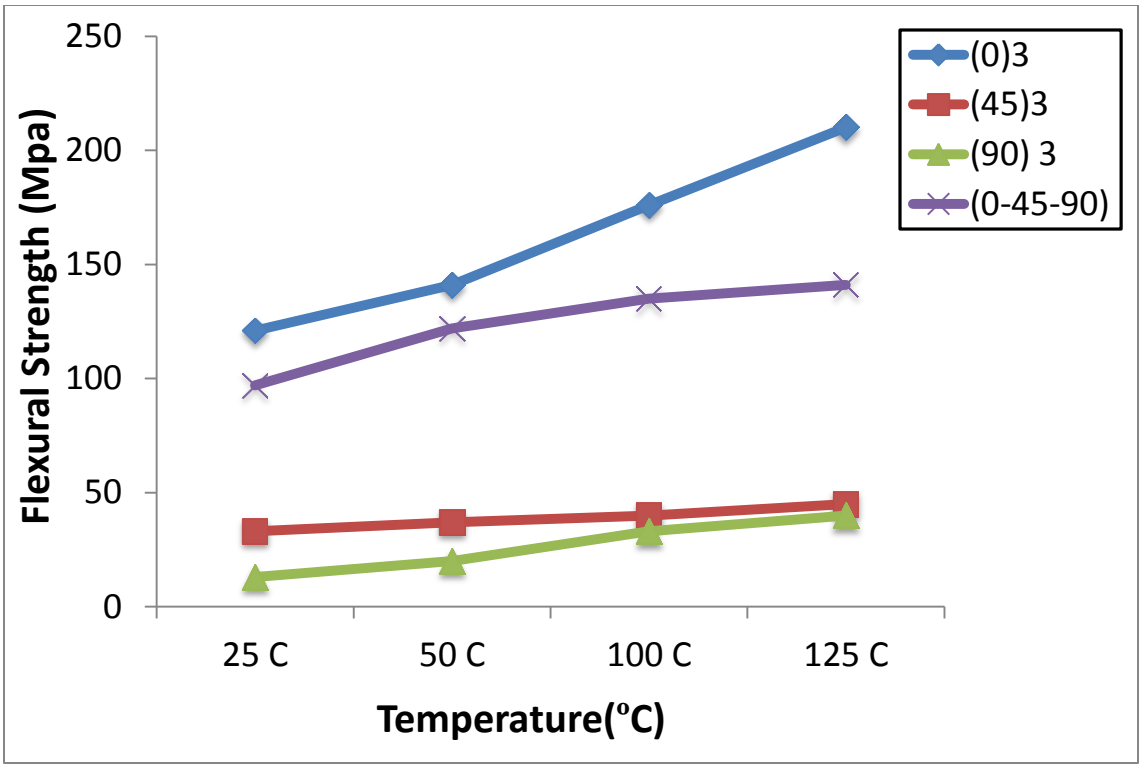
من ملاحظة الشكل (4−1) والشكل (4−2) الذي يبين تاثير درجة الحرارة والزوايا على متانة الانحناء لجميع عينات البولي استر الياف زجاجية حيث يوضح الشكل ان المتانة تكون في اعلى القيم عند الزاوية [°0] ولجميع درجات الحرارة °C (125,100,50,25) وتتناقص المتانة عند بقية الزوايا ، وكذلك تقل المتانة عند ارتفاع درجة الحرارة على العينات ، وكذلك تكون اعلى متانة عند درجة حرارة c° 25 لجميع العينات ولجميع الزوايا وتقل عند ارتفاع درجة الحرارة على العينات اما عند الزوايا المتناظرة وغير المتناظرة [°0،°45،°90] وs[°0،°45،°90] فان المتانة تكون اكبر من الزوايا[° 45] و [° 90] لوجود الزاوية [°0] عند السطح الاعلى للزاوية غير المتناظرة وايضا وجود الزاوية [°0] عند السطح الاعلى والاسفل بسبب خاصية التناظر . هذا يحدث لعينات المادة البوليميرية الصفائحية ذات الثلاث والست طبقات . وقيم متانة الانحناء واختلاف درجات الحرارة والزوايا للمادة البوليميرية المتراكبة الصفائحية توضحها الجداول (1) و(2) وكذلك تزداد المتانة عند زيادة عدد الطبقات لزيادة الكسر الوزني للألياف .

الجدول (3) قيم متانة الانحناء (F.S) لجميع العينات عند درجات حرارية مختلفة لعينات الايبوكسي الياف زجاجية لثلاث طبقات .

المادة المتراكبة الصفائحية	ترتيب الالياف حسب الاتجاه	$25^{\circ}C$	$50^{\circ}C$	$100^{\circ}C$	$125^{\circ}C$
		اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
EP+GF	$[0^{\circ}]_3$	121	141	176	210
EP+GF	$[45^{\circ}]_3$	33	37	40	45
EP+GF	$[90^{\circ}]_3$	13	20	33	40

EP+GF	$[90^\circ\ 45^\circ 0^\circ]$	97	122	135	141

4-4 تأثير درجة الحرارة على المتانة لعينات الايبوكسي الياف الزجاجية لـ (3) طبقات لزوايا مختلفة .

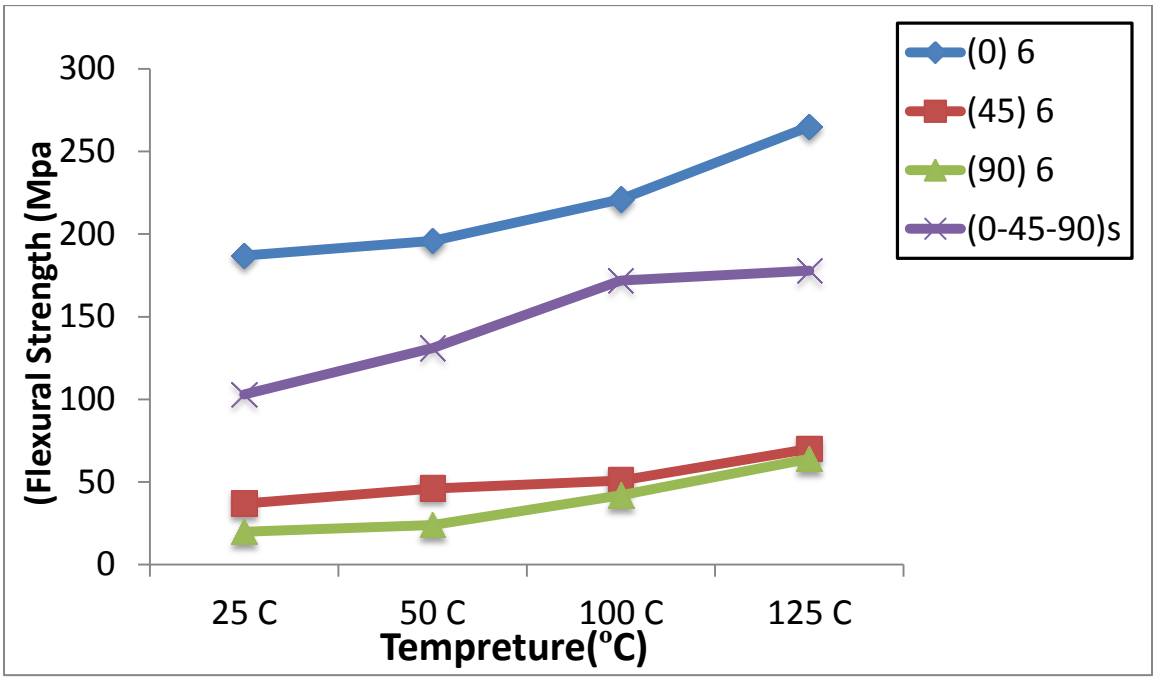


الشكل (4- 3) يبين تأثير درجة الحرارة والزوايا على المتانة لعينات الايبوكسي الياف زجاجية لثلاث طبقات .

الجدول (4) قيم متانة الانحناء (F.S) لجميع العينات عند درجات حرارية مختلفة لعينات الايبوكسي الياف زجاجية لست طبقات.

المادة المتراكبة الصفائحية	ترتيب الالياف حسب الاتجاه	$25^\circ C$	$50^\circ C$	$100^\circ C$	$125^\circ C$
		اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
EP+GF	$[0^\circ]_6$	187	196	221	265
EP+GF	$[45^\circ]_6$	37	46	51	70
EP+GF	$[90^\circ]_6$	20	24	42	64
EP+GF	$[90^\circ\ 45^\circ 0^\circ]s$	103	131	172	178

4-5 تأثير درجة الحرارة على المتانة لعينات الايبوكسي الياف الزجاجية لـ (6) طبقات لزوايا مختلفة .

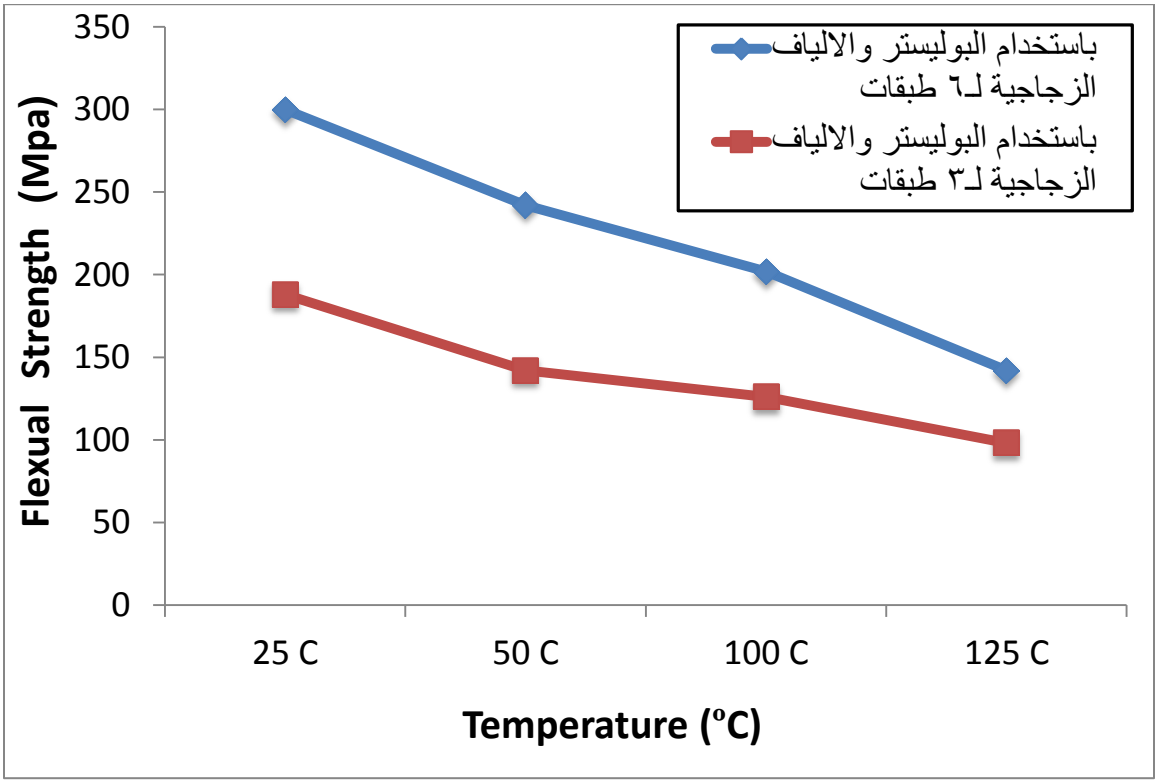


الشكل (4-4) يبين تأثير درجة الحرارة والزوايا على المتانة لعينات الايبوكسي الياف زجاجية لست طبقات.

من ملاحظة الشكل (4-3) والشكل (4-4) الذي يبين تاثير درجة الحرارة والزوايا على متانة الانحناء لجميع عينات الايبوكسي الياف زجاجية حيث يوضح الشكل ان المتانة تكون في اعلى القيم عند الزاوية [0°] ولجميع درجات الحرارة °C (125,100,50,25) وتتناقص المتانة عند بقية الزوايا ، وكذلك تزداد المتانة عند ارتفاع درجة الحرارة على العينات ، وكذلك تكون اقل متانة عند درجة حرارة 25 c° لجميع العينات ولجميع الزوايا وتزداد عند ارتفاع درجة الحرارة على العينات اما عند الزوايا المتناظرة وغير المتناظرة [0°،45°،90°]و[0°،45°،90°]s] فان المتانة تكون اكبر من الزوايا[45°]و [90°] لوجود الزاوية [0°] عند السطح الاعلى للزاوية غير المتناظرة وايضا وجود الزاوية [0°] عند السطح الاعلى والاسفل بسبب خاصية التناظر . هذا يحدث لعينات المادة البوليميرية الصفائحية ذات الثلاث والست طبقات . وقيم متانة الانحناء واختلاف درجات الحرارة والزوايا للمادة.

البوليميرية المتراكبة الصفائحية توضحها الجداول (3) و(4) وكذلك تزداد المتانة عند زيادة عدد الطبقات لزيادة الكسر الوزني للألياف .

4-6 تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عندما تكون الزاوية (0°) للبولي استر الياف زجاجية .



الشكل (4 -5) تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية (0°) لعينات البولي استر ألياف زجاجية.

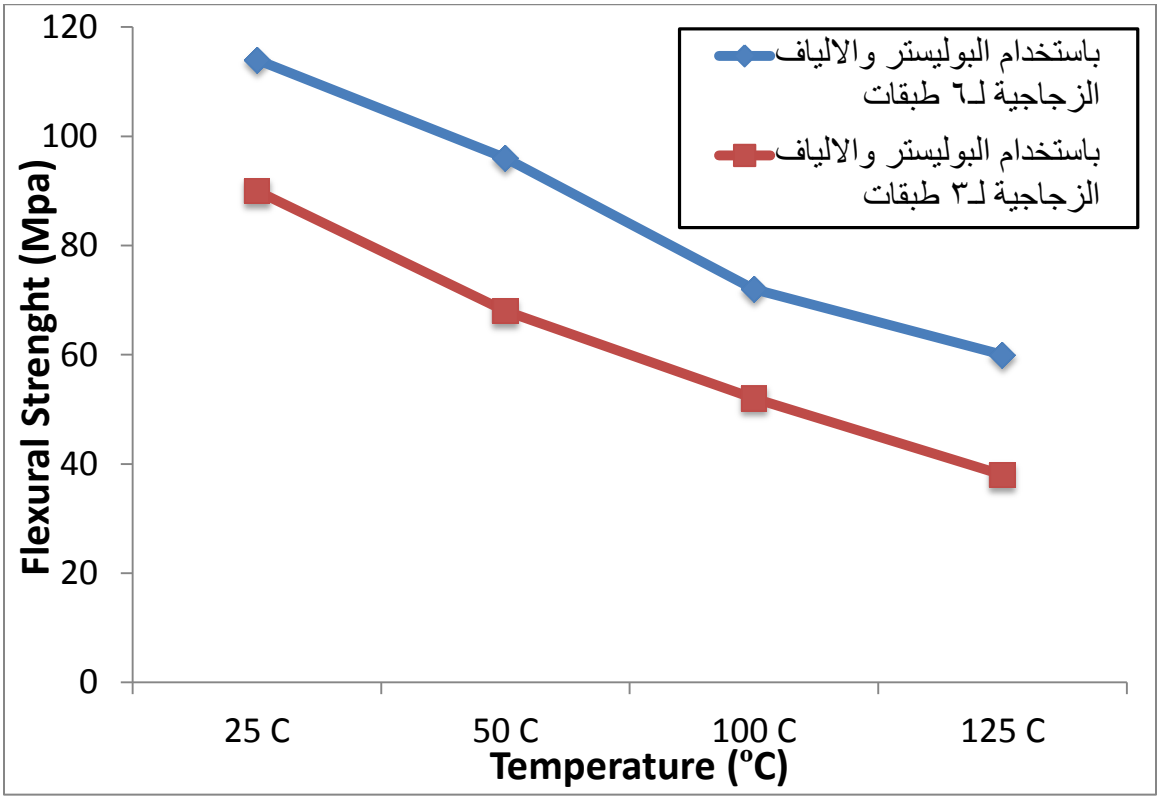
الجدول (5) تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للزاوية 0° لعينات البولي استر الياف زجاجية .

المادة المتراكبة الصفائحية	$25^{\circ}C$	$50^{\circ}C$	$100^{\circ}C$	$125^{\circ}C$
	اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
البولي استر الياف زجاجية لـ (6) طبقات	300	242	202	142
البولي استر الياف زجاجية لـ (3) طبقات	188	142	126	98

ان الشكل (4-5) الذي يمثل تاثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية صفر لعينات البولي استر الياف زجاجية ويمثل نموذجين احداهما عينة بولي استر الياف زجاجية

6طبقة وعينة اخرى بولي استر الياف زجاجية 3 طبقة فأن المتانة لهذه الزاوية تزداد بزيادة عدد الطبقات نتيجة لزيادة الكسر الوزني والقيم مبينة في الجدول (5).

4-7 تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عندما تكون الزاوية (45°) للبولي استر الياف زجاجية .



الشكل (4 – 6) تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية (45°) لعينات البولي استر.

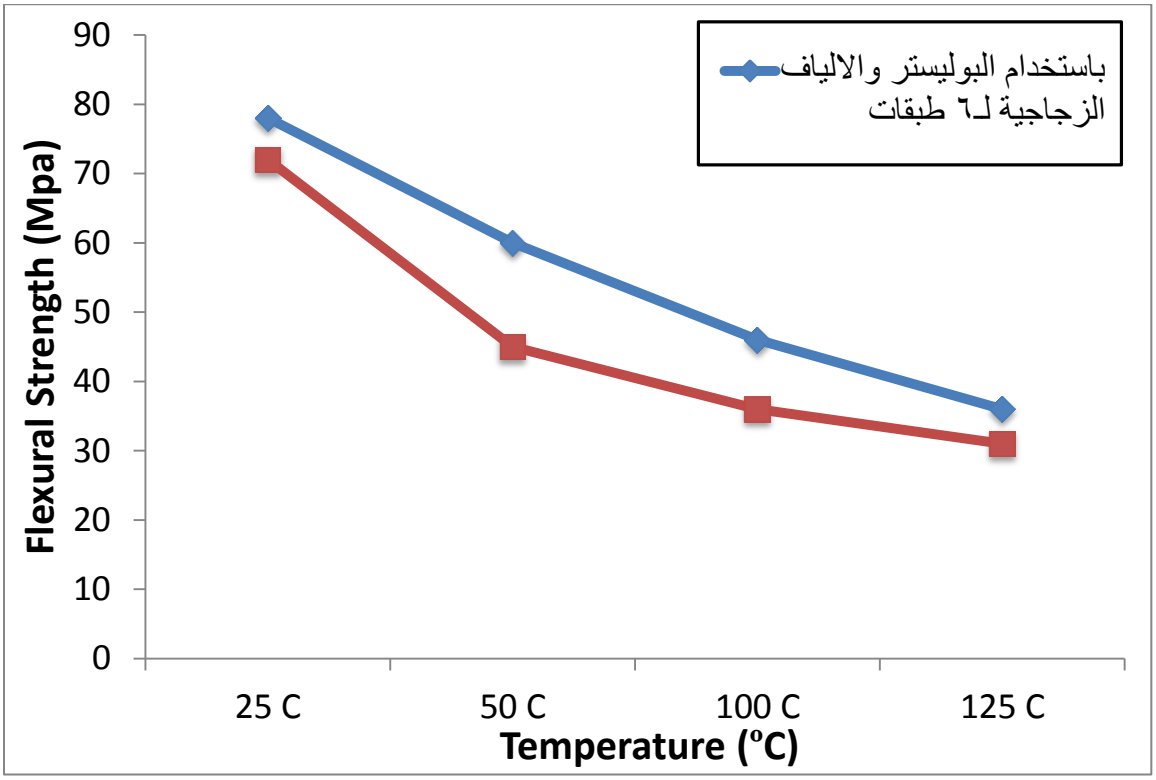
الجدول (6) تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للزاوية 45° لعينات البولي استر الياف زجاجية .

المادة المتراكبة الصفائحية	$25^{\circ}C$	$50^{\circ}C$	$100^{\circ}C$	$125^{\circ}C$
	اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
البولي استر الياف زجاجية لـ (6) طبقات	114	96	72	60
البولي استر الياف زجاجية لـ (3) طبقات	90	68	52	38

ان الشكل (4-6) الذي يمثل تاثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية 45° لعينات البولي استر الياف زجاجية ويمثل نموذجين احداهما عينة بولي استر الياف زجاجية

6طبقة وعينة اخرى بولي استر الياف زجاجية 3 طبقة فأن المتانة لهذه الزاوية تزداد بزيادة عدد الطبقات نتيجة لزيادة الكسر الوزني والقيم مبينة في الجدول (7) .

4-8 تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عندما تكون الزاوية (90°) للبولي استر الياف زجاجية .



الشكل (4 – 7) تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية (90°) لعينات البولي استر الياف زجاجية.

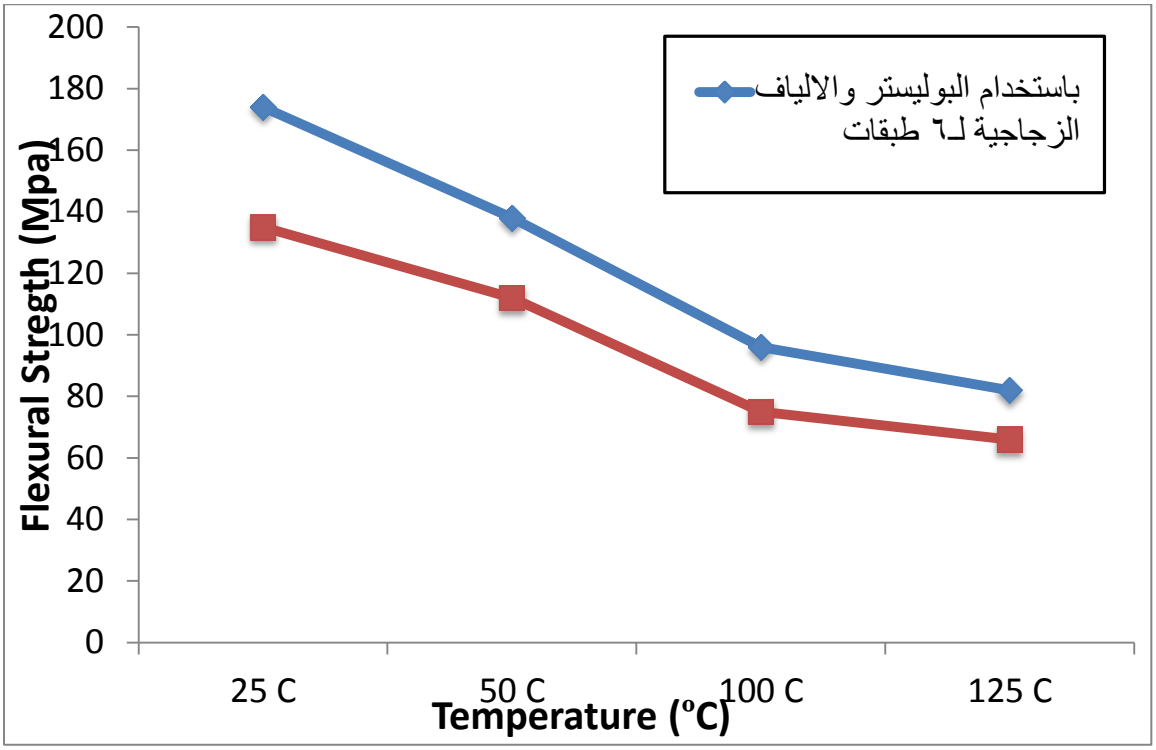
الجدول (7) تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للزاوية 90° لعينات البولي استر الياف زجاجية .

المادة المتراكبة الصفائحية	$25^{\circ}C$	$50^{\circ}C$	$100^{\circ}C$	$125^{\circ}C$
	اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
البولي استر الياف زجاجية لـ (6) طبقات	78	60	46	36
البولي استر الياف زجاجية لـ (3) طبقات	72	45	36	31

ان الشكل (4-7) الذي يمثل تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية90^{o} لعينات البولي استر الياف زجاجية ويمثل نموذجين احداهما عينة بولي استر الياف زجاجية 6طبقة وعينة

اخرى بولي استر الياف زجاجية 3 طبقة فأن المتانة لهذه الزاوية تزداد بزيادة عدد الطبقات نتيجة لزيادة الكسر الوزني والقيم مبينة في الجدول (7)

4-9 تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عندما تكون الزاوية ($0^{\circ}.45^{\circ}.90^{\circ}$) للبولي استر الياف زجاجية .



الشكل (4- 8) تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية ($0^{\circ}.45^{\circ}.90^{\circ}$) لعينات البولي استر الياف زجاجية .

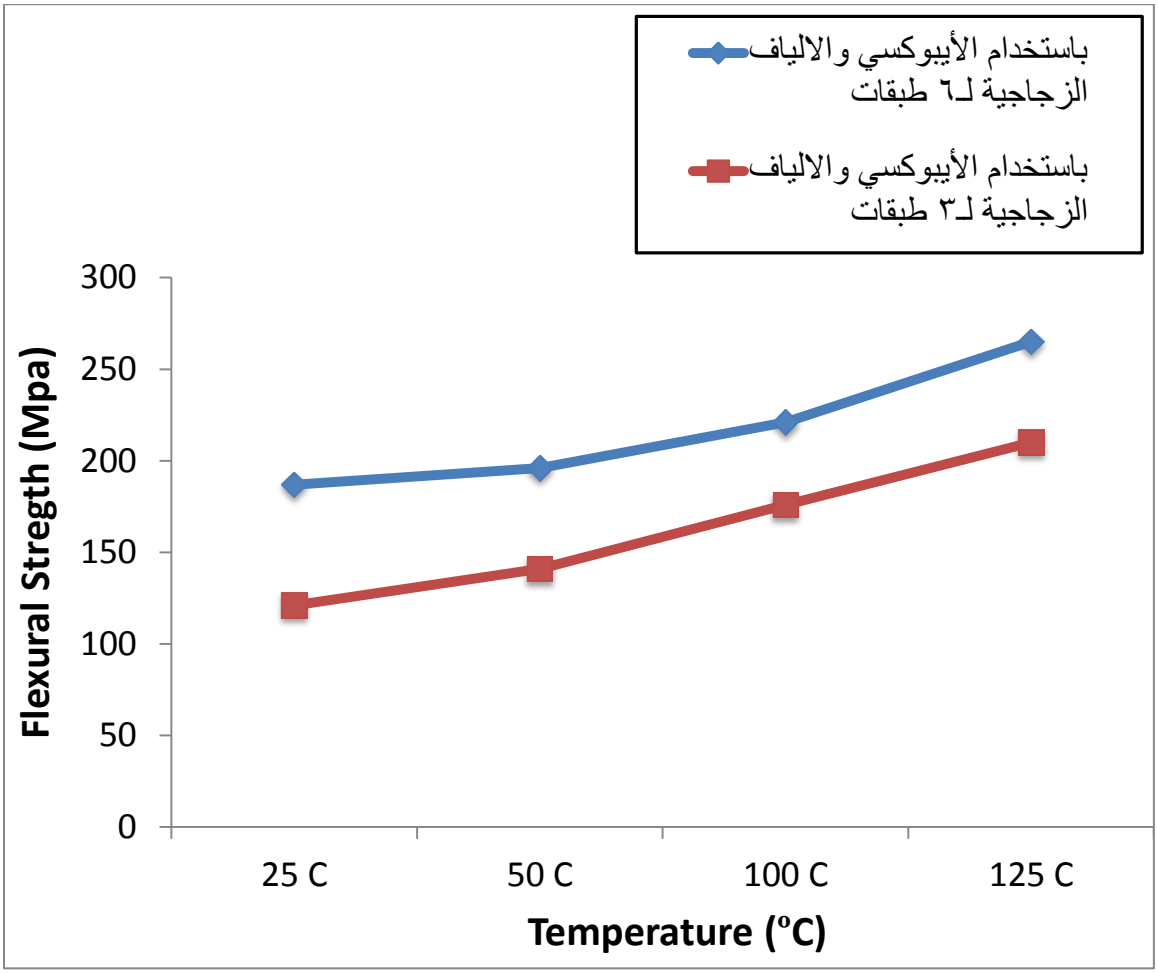
الجدول (8) تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للزاوية $90^{\circ}.45^{\circ}.0^{\circ}$ لعينات البولي استر الياف زجاجية

المادة المتراكبة الصفائحية	$25^{\circ}C$	$50^{\circ}C$	$100^{\circ}C$	$125^{\circ}C$
	اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
البولي استر الياف زجاجية لـ (6) طبقات	174	138	96	82
البولي است ر الياف زجاجية لـ (3) طبقات	135	112	75	66

ان الشكل (4-8) الذي يمثل تاثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للعينات عند الزاوية 0°،45°،90° البولي استر الياف زجاجية ويمثل نموذجين احداهما عينة بولي استر الياف

زجاجية 6طبقة وعينة اخرى بولي استر الياف زجاجية 3 طبقة فأن المتانة لهذه الزاوية تزداد بزيادة عدد الطبقات نتيجة لزيادة الكسر الوزني والقيم مبينة في الجدول (8).

4-10 تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عندما تكون الزاوية (0°) الايبوكسي الياف زجاجية .



الشكل (4 – 9) تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية (0°) لعينات الايبوكسي الياف زجاجية .

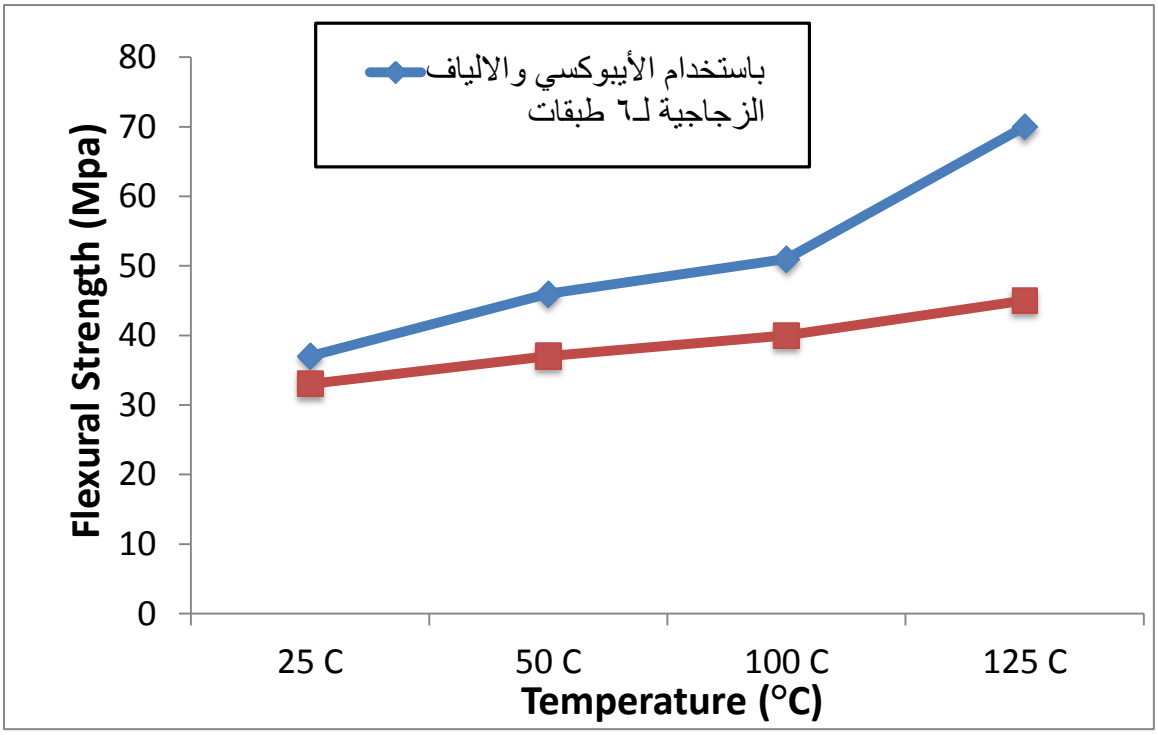
الجدول (9) تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للزاوية 0° لعينات الايبوكسي الياف زجاجية .

المادة المتراكبة	$25^{\circ}C$	$50^{\circ}C$	$100^{\circ}C$	$125^{\circ}C$

الصفائحية	اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
الايبوكسي استر زجاجية لـ (6) طبقات	187	196	221	265
الايبوكسي الياف زجاجية لـ (3) طبقات	121	141	176	210

ان الشكل (4-8) الذي يمثل تاثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للعينات عند الزاوية 0º،45º،90º البولي استر الياف زجاجية ويمثل نموذجين احداهما عينة بولي استر الياف زجاجية 6طبقة وعينة اخرى بولي استر الياف زجاجية 3 طبقة فأن المتانة لهذه الزاوية تزداد بزيادة عدد الطبقات نتيجة لزيادة الكسر الوزني والقيم مبينة في الجدول (8).

4-11 تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عندما تكون الزاوية (45°) الايبوكسي الياف زجاجية .



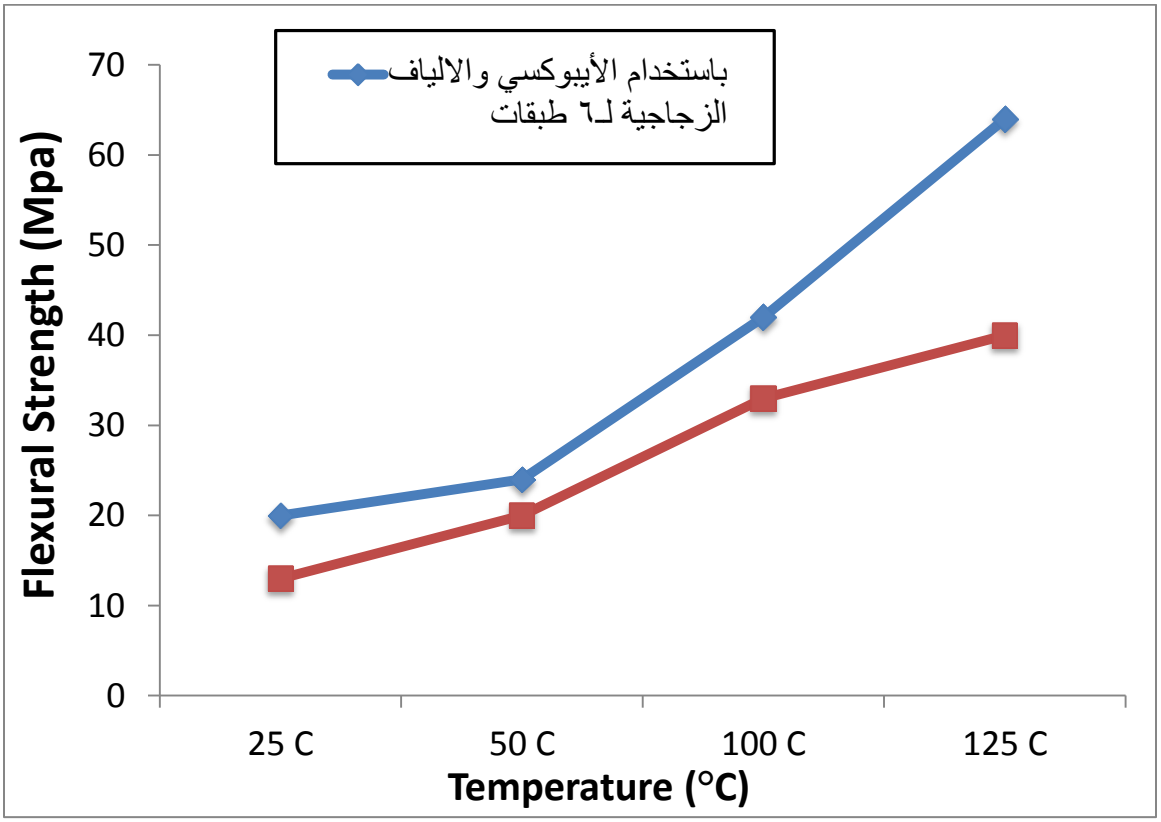
الشكل (4-10) تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية (45°) لعينات الايبوكسي الياف زجاجية

الجدول (10) تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للزاوية 45° لعينات الايبوكسي الياف زجاجية

المادة المتراكبة الصفائحية	اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
	$25^{\circ}C$	$50^{\circ}C$	$100^{\circ}C$	$125^{\circ}C$

الايبوكسي استر زجاجية لـ (6) طبقات	37	46	51	70
الايبوكسي الياف زجاجية لـ (3) طبقات	33	37	40	45

4-12 تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عندما تكون الزاوية (90°) الايبوكسي الياف زجاجية .



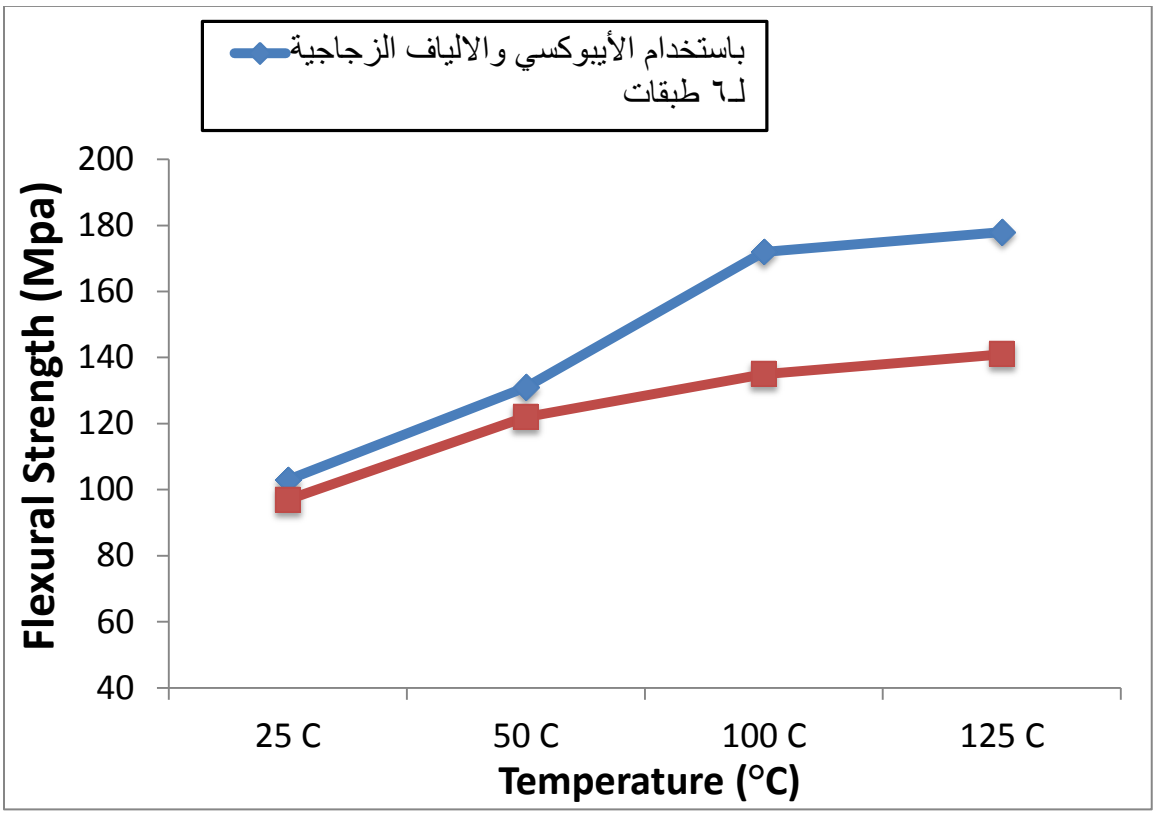
الشكل (4-11) تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية (90°) لعينات الايبوكسي الياف زجاجية .

الجدول (11) تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للزاوية 90° لعينات الايبوكسي الياف زجاجية

المادة المتراكبة الصفائحية	$25^{\circ}C$	$50^{\circ}C$	$100^{\circ}C$	$125^{\circ}C$
	اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
الايبوكسي الياف زجاجية	**20**	**24**	**42**	**64**

لـ (6) طبقات				
الايبوكسي الياف زجاجية لـ (3) طبقات	13	20	33	40

4-13 تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عندما تكون الزاوية ($90^{o}45^{o}0^{o}$) الايبوكسي الياف زجاجية .



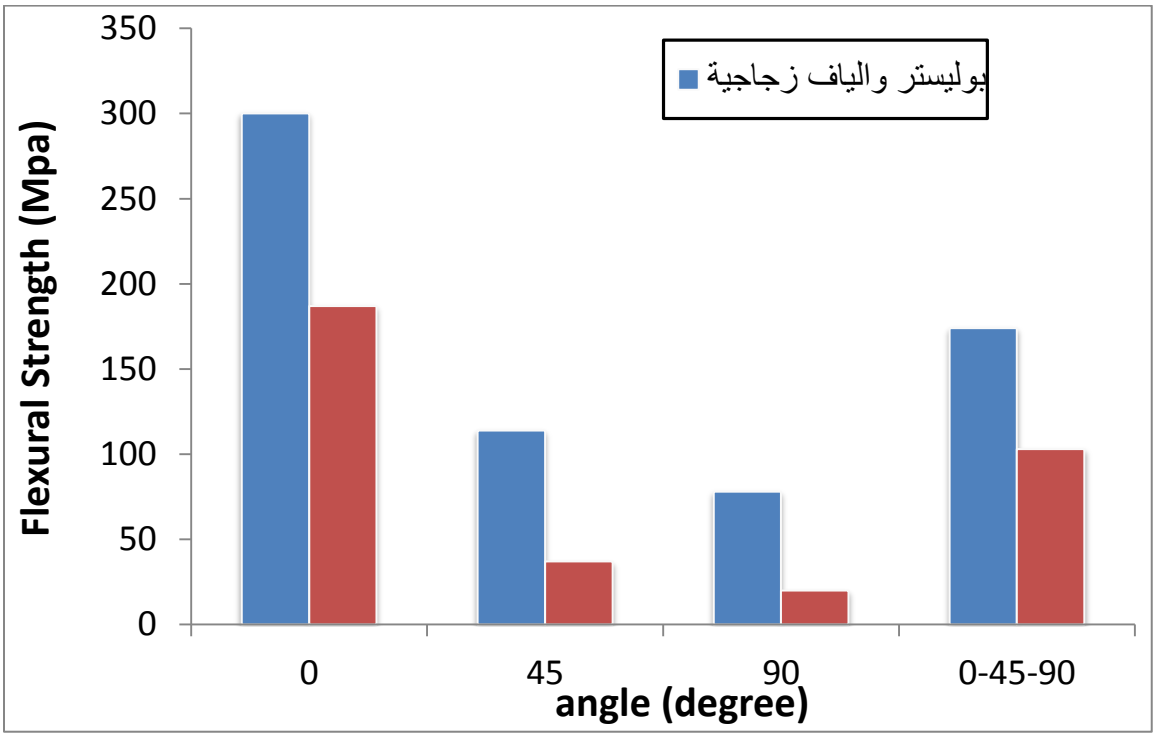
الشكل (4-12) تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة عند الزاوية ($90^{o}45^{o}0^{o}$) لعينات الايبوكسي الياف زجاجية .

الجدول (12) تأثير درجة الحرارة وعدد الطبقات على المتانة للزاوية $90^{\circ}.45^{\circ}.0^{\circ}$ لعينات الايبوكسي الياف زجاجية .

المادة المتراكبة الصفائحية	$25^{\circ}C$	$50^{\circ}C$	$100^{\circ}C$	$125^{\circ}C$
	اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			

الايبوكسي الياف زجاجية لـ (6) طبقات	103	131	172	178
الايبوكسي الياف زجاجية لـ (3) طبقات	97	122	135	141

4-14 تأثير اتجاه الزوايا لـ6 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة(c°25) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية .



الشكل(4-13) تأثير اتجاه الزوايا لـ6 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (25°c) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية .

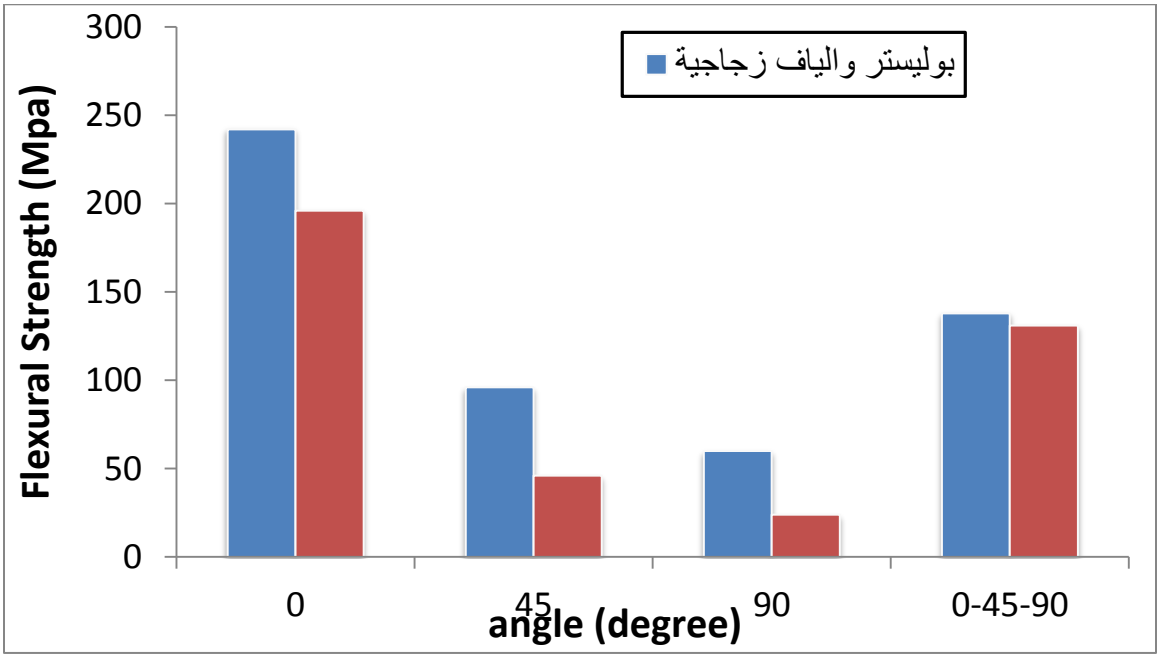
تأثير اتجاه الزوايا لـ (6) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة ($25^{\circ}C$)

الجدول (13) يبين تأثير اتجاه الزوايا لـ (6) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة ($25^{\circ}C$)

المادة المتراكبة الصفائحية	0°	45°	90°	$\mathbf{0^{\circ}.45^{\circ}.90^{\circ}}$
اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)				

البوليستر استرالياف زجاجية لـ (6) طبقات	300	114	78	174
الايبوكسي الياف زجاجية لـ (6) طبقات	187	37	20	103

4-15 تأثير اتجاه الزوايا لـ6 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة(50cº) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية .



الشكل(4-14) تأثير اتجاه الزوايا لـ6 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (50ºc) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية .

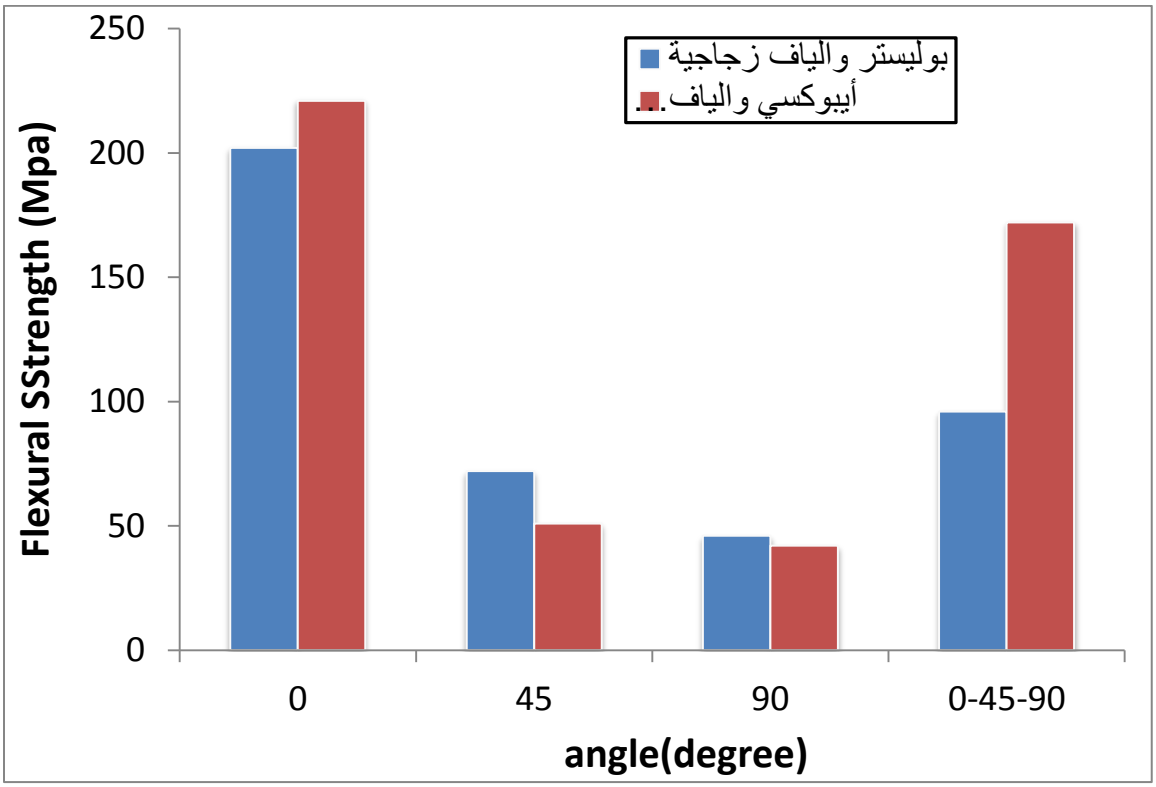
تأثير اتجاه الزوايا لـ (6) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة ($50^{\circ}C$)

الجدول (14) يبين تأثير اتجاه الزوايا لـ (6) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة ($50^{\circ}C$)

المادة المتراكبة	0°	45°	90°	$\mathbf{0^{\circ}.45^{\circ}.90^{\circ}}$

الصفائحية	اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
البولي الياف استر زجاجية لـ (6) طبقات	242	96	60	138
الايبوكسي الياف زجاجية لـ (6) طبقات	196	46	24	131

4-16 تأثير اتجاه الزوايا لـ6 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة(100c°) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية .



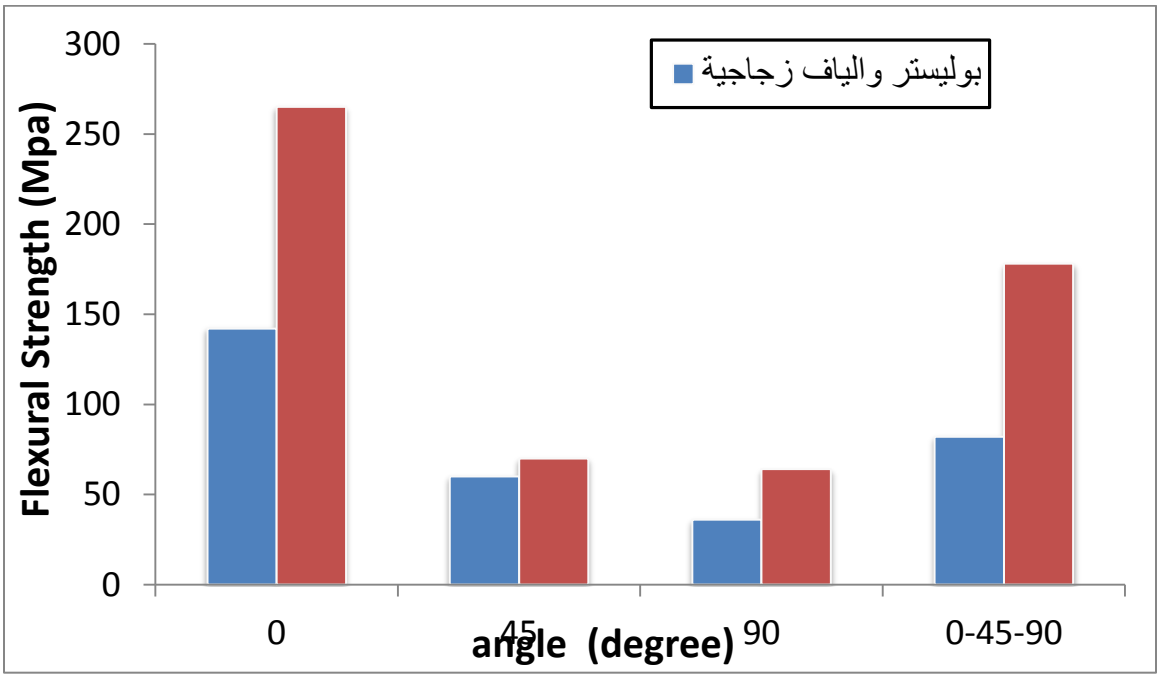
الشكل(4-15) تأثير اتجاه الزوايا لـ6 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (100°c) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية .

تأثير اتجاه الزوايا لـ (6) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة ($100^{\circ}C$)

الجدول (15) يبين تأثير اتجاه الزوايا لـ (6) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة ($100^{\circ}C$)

المادة المتراكبة الصفائحية	0°	45°	90°	$\mathbf{0^{\circ}.45^{\circ}.90^{\circ}}$
	اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
البولي الياف استر زجاجية لـ (6) طبقات	202	72	46	96
الايبوكسي الياف زجاجية لـ (6) طبقات	221	51	42	172

4-17 تأثير اتجاه الزوايا لـ6 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة(125c°) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية .



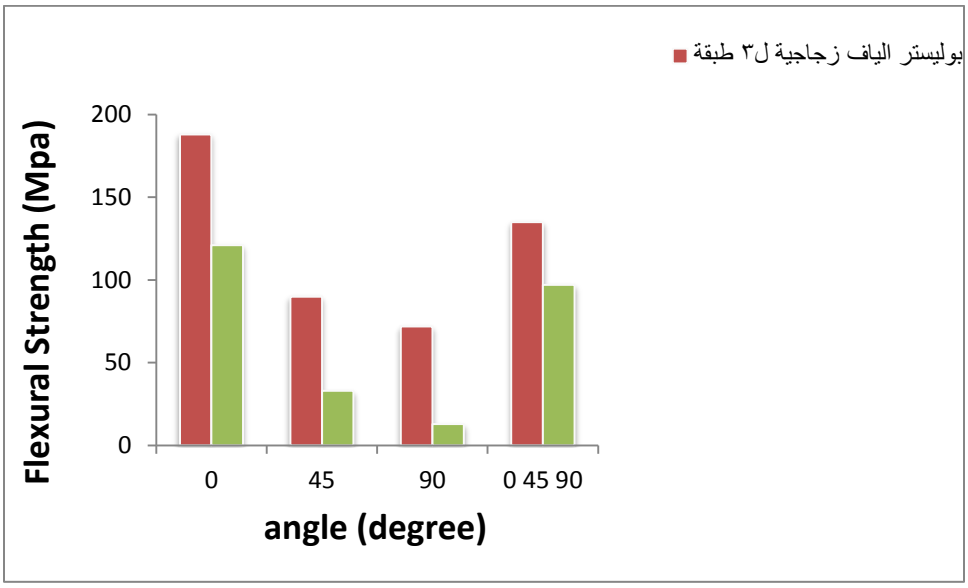
الشكل(4-16) تأثير اتجاه الزوايا لـ6 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (125°c) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية .

تأثير اتجاه الزوايا لـ (6) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة ($125^{\circ}C$)

الجدول (16) يبين تأثير اتجاه الزوايا لـ (6) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة ($125^{\circ}C$)

المادة المتراكبة الصفائحية	0°	45°	90°	$\mathbf{0^{\circ}.45^{\circ}.90^{\circ}}$
	اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
البولي الياف استر زجاجية لـ (6) طبقات	142	60	36	82
الايبوكسي الياف زجاجية لـ (6) طبقات	265	70	64	178

(4-18) المقارنة بين المتانة واتجاه الزاوية لعينات البولي استر الايبوكسي الياف زجاجية لثلاث طبقات عند درجة الحرارة ($25^{\circ}C$) .



الشكل(4-17) تأثير اتجاه الزوايا لـ3 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (25°c) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية .

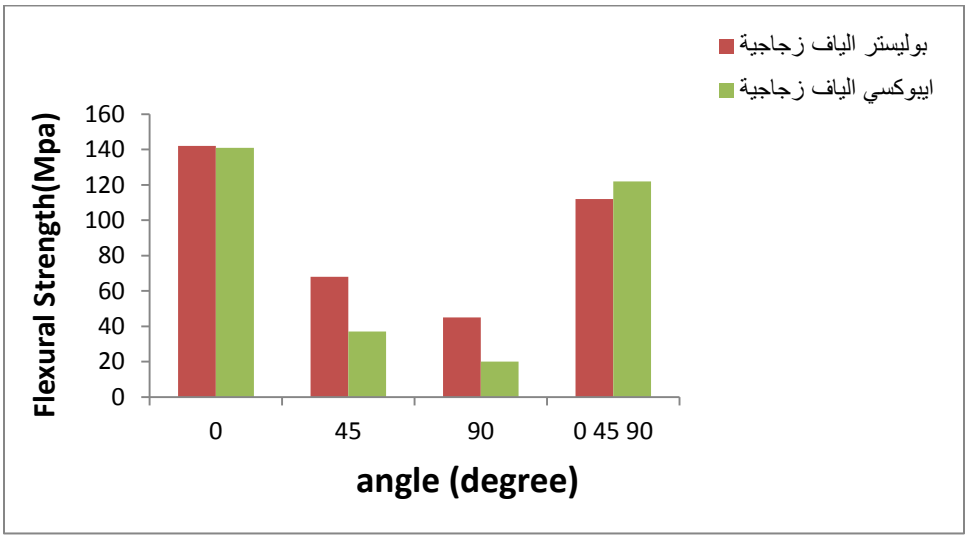
تأثير اتجاه الزوايا لـ (3) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة ($25^{\circ}C$)

الجدول (17) يبين تأثير اتجاه الزوايا لـ (3) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة ($25^{\circ}C$)

المادة المتراكبة الصفائحية	0°	45°	90°	$\mathbf{0^{\circ}.45^{\circ}.90^{\circ}}$
	اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
البولي الياف استر زجاجية لـ (3) طبقات	188	90	72	135

الايبوكسي الياف زجاجية لـ (3) طبقات	121	33	13	97

(4-19) المقارنة بين المتانة واتجاه الزاوية لعينات البولي استر الايبوكسي الياف زجاجية لثلاث طبقات عند درجة الحرارة (50° C) .



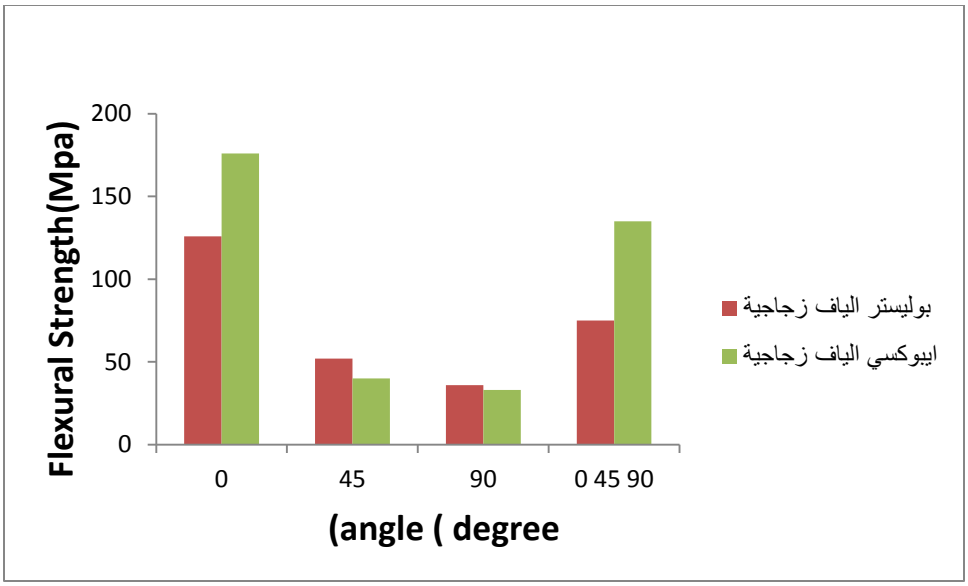
الشكل(4-18) تأثير اتجاه الزوايا لـ3 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (50°c) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية .

تأثير اتجاه الزوايا لـ (3) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة ($50^{\circ}C$)

الجدول (18) يبين تأثير اتجاه الزوايا لـ (3) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة(50°C)

المادة المتراكبة الصفائحية	0°	45°	90°	$\mathbf{0^{\circ}.45^{\circ}.90^{\circ}}$
	اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
البولي الياف استر زجاجية لـ (3) طبقات	142	68	45	112
الايبوكسي الياف زجاجية لـ (3) طبقات	141	37	20	122

(4-20) المقارنة بين المتانة واتجاه الزاوية لعينات البولي استر الايبوكسي الياف زجاجية لثلاث طبقات عند درجة الحرارة (100° C) .



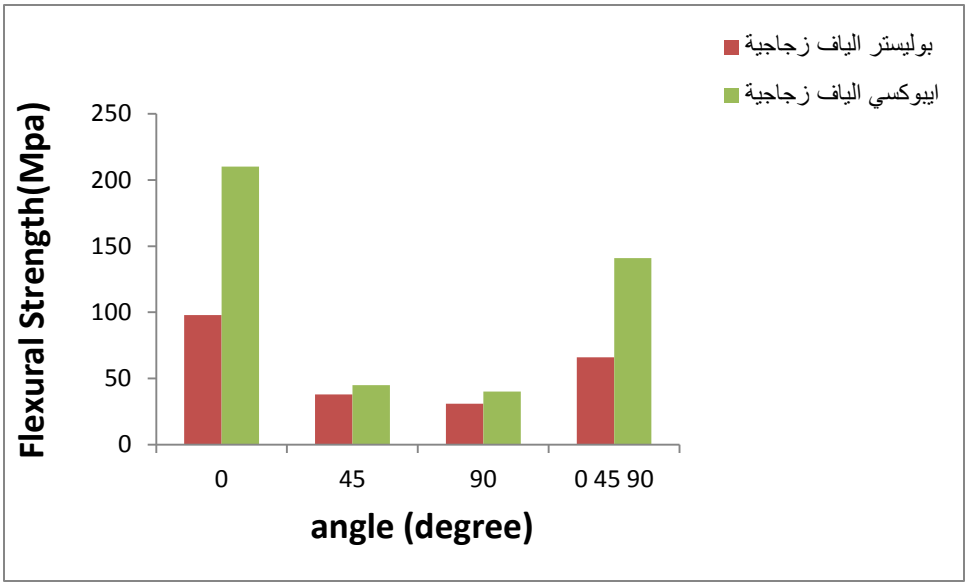
الشكل(4–19) تأثير اتجاه الزوايا لـ3 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (100ºc) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية .

تأثير اتجاه الزوايا لـ (3) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة ($100^{\circ}C$)

الجدول (19) يبين تأثير اتجاه الزوايا لـ (3) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة ($100^{\circ}C$)

المادة المتراكبة الصفائحية	0°	45°	90°	$\mathbf{0^{\circ}.45^{\circ}.90^{\circ}}$
	اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
البولي الياف استر زجاجية لـ (3) طبقات	126	52	36	75
الايبوكسي الياف زجاجية لـ (3) طبقات	176	40	33	135

(4–21) المقارنة بين المتانة واتجاه الزاوية لعينات البولي استر الايبوكسي الياف زجاجية لثلاث طبقات عند درجة الحرارة ($125^{\circ}C$) .



الشكل(4–20) تأثير اتجاه الزوايا لـ3 طبقات على المتانة عند درجة الحرارة (125°c) لعينات الأيبوكسي والبوليستر الياف زجاجية .

تأثير اتجاه الزوايا لـ (3) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة ($125^{\circ}C$)

الجدول (20) يبين تأثير اتجاه الزوايا لـ (3) طبقات على المتانة عند درجة الحرارة ($125^{\circ}C$)

المادة المتراكبة الصفائحية	0°	45°	90°	$\mathbf{0^{\circ}.45^{\circ}.90^{\circ}}$
	اعلى قيمة لمتانة الانحناء(Mpa)			
البولي الياف استر زجاجية لـ (3) طبقات	98	38	31	66
الايبوكسي الياف زجاجية لـ (3) طبقات	210	45	40	141

22-4 نتائج ومناقشة اختبار متانة الانحناء :

إن الهدف الرئيس من اختبار متانة الانحناء هو التعرف على السلوك الخطي للمادة الواقعة تحت تأثير الحمل المسلط بالاتجاه العمودي على المستوى السطحي للعينة ومن ملاحظة الشكلين (4- 1) و(4 - 2) والجداول (1. 2) تبين تأثير درجة الحرارة على المتانة لعينات من البولي استر المدعم بستة طبقات من الألياف الزجاجية عند زوايا مختلفة $[0^{\circ}]_6$، $[45^{\circ}]_6$ ،$[90^{\circ}]_6$ فعند الزاوية $[0^{\circ}]_6$ تكون المتانة عند أعلى القيم ولجميع درجات الحرارة وتتناقص المتانة لبقية الزوايا ماعدا ($[0^{\circ}, 45^{\circ}, 90^{\circ}]$) تزداد المتانة عندها لوجود الزاوية (0) في السطح الأعلى والأسفل بسبب خاصية التناظر. وتأثير درجات الحرارة على عينات البولي استر الياف زجاجية والايبوكسي الياف زجاجية لثلاث طبقات نفس اسباب ست طبقات .لان متانات المادة الصفائحية تختلف باختلاف الاتجاهات ففي الاتجاه الذي تأخذه الالياف تكون المتانة عند اعلى القيم وتقل في الاتجاهات الاخرى . وعند ارتفاع درجة الحرارة تصبح المادة هشة (Brittle) وذلك لان زيادة درجة الحرارة على العينات يؤدي إلى ضعف قوى الترابط بين السلاسل الجزيئية لذلك تصبح المادة مرنة ويحدث فيها انفعال كبير وبعد درجة الانتقال الزجاجي تقل المتانة لعينات البولي استر الياف زجاجية، في حين عند انخفاض درجات الحرارة ($25\ ^{\circ}C$, 50 , 100 , 125) تزداد قيم المتانة بسبب حصول حالة الشد في الاواصر البوليمرية مما يؤدي الى تقييد حركتها حيث تصبح المادة صلدة وذات معدلات انفعال واطئة [61], [80]،اما عند زيادة درجات الحرارة على عينات الايبوكسي المدعمة بطبقات من الياف الزجاجية كما في الشكلين (4-3) و(4-4) والجداول(4.3) تزداد المتانة ولجميع العينات وباختلاف زوايا الليف بسبب زيادة درجة التشابك وزيادة قوة الترابط بين السلاسل الجزيئية وذالك لان اعلى درجة حرارة هي اقل من درجة حرارة الانتقال الزجاجي فتكون العينة مطيلية (ductile) ولان زيادة درجة المعالجة الحرارية تؤدي الى زيادة درجة التشابك السلاسل البوليمرية وبالتالي زيادة متانة الانحناء مع ملاحظة درجة الانتقال الزجاجي وتزداد المتانة مع زيادة عدد طبقات التدعيم بسبب زيادة الكسر الوزني للألياف مما يجعلها تتحمل الجزء الأكبر من الحمل المسلط على المادة المتراكبة ومن ملاحظة الأشكال (4- 5) و(4 - 6) و (4 - 7) و (4 - 8) والجداول (8.7.6.5) الذي يبين تأثير درجة الحرارة على المتانة لعينات البولي استر الياف زجاجية

لست طبقات وثلاث طبقات عتد زيادة درجة على العينات نلاحظ تناقص متانة الانحناء لجميع العينات ولجميع الزوايا، لنفس اسباب عينات البولي استر الياف زجاجية .وعند كل الزوايا تزداد المتانة لعينة ست طبقات اكثر من عينة ثلاث طبقات وذلك لزيادة الكسر الوزني للألياف التي تتحمل الجزء الاكبر من الحمولة .

ومن ملاحظة الأشكال (4- 9) و(4 - 10) و (4 - 11) و(4-12) والجداول (12.11.10.9) وعند مقارنة المتانة لعينات الايبوكسي المدعمة بطبقات من الالياف الزجاجية لست طبقات وثلاث طبقات وعند زيادة درجة الحرارة على العينات لاحظنا زيادة متانة الانحناء لجميع العينات وجميع الزوايا ولنفس اسباب عينات الايبوكسي الياف زجاجية . ووجد بان المتانة تكون اكبر لعينات الايبوكسي لست طبقات اكثر من ثلاث طبقات لان زيادة عدد الطبقات يجعل الألياف تتحمل الجزء الاكبر من الحمل المسلط على المادة المتراكبة .

ومن ملاحظة الاشكال (4- 13) و(4 - 14) و (4 - 15) و (4 - 16) والجداول (16.15.14.9) و عند مقارنة المتانة لعينات الايبوكسي والبولي استر المدعمة بست طبقات من الالياف الزجاجية والتي تبين تأثير اتجاه الزاوايا لست طبقات على المتانة لجميع درجات الحرارة فأن المتانة تكون باعلى القيم عند الزاوية [°0] لجميع عينات الايبوكسي الياف زجاجية ولجميع درجات الحرارة التي تكون اقل من درجة الانتقال الزجاجي ولان متانات المادة تعتمد على اتجاه الزوايا ففي الاتجاه الذي تأخذه الالياف اي مع الزاوية [°0] تكون المتانة عند اعلى القيم وتقل عند بقية الزوايا اماعينات البولي استر المدعمة بست طبقات من الالياف الزجاجية فان المتانة ايضاتكون بأعلى القيم عند الزاوية [°0] وفي جميع العينات ولكن تقل مع زيادة درجات الحرارة وتقل عند بقية الزوايا ولكن تزداد عند الزوايا المتناظرة وغير المتناظرة [$90^{\circ}.45^{\circ}.0^{\circ}$] و $_s[\,0^{\circ},45^{\circ},90^{\circ}\,]$ لوجود الزاوية [°0] في السطح الاعلى والاسفل للعينة المتناظرة ووجودها في السطح الاعلى للعينة غير المتناظرة وان اختلاف المتانات بين العينات المختلفة لنفس الطبقات عند جميع درجات الحرارة يعود الى ان درجة حرارة العينة اعلى او اقل من درجة حرارة الانتقال الزجاجي .

ومن ملاحظة الاشكال (4– 17) و(4 – 18) و (4 – 19) و (4 – 20) والجداول (20.19.18.17)

تبين بان تأثير اتجاه الزاوية لثلاث طبقات من الالياف الزجاجية بان متانة الانحناء لعينات البوليستر والاييوكسي المدعمة تقل مع زيادة الزاوية حيث تكون اكبر متانة عند الزاوية [°0] ثم تتناقص بشكل كبير من بقية الزوايا لان متانة الانحناء تكون اعظم ما يمكن عندما يشكل التحميل زاوية ما بين (°8 –°0) مع محور الالياف وتبدا بالتناقص عندما تكون الزاوية اعلى من (°8)

حيث تسمى هذه الزاوية بالزاوية الحرجة اما عند عينات الاييوكسي المدعم فان متانة الانحناء تزداد عند ارتفاع درجة الحرارة ولجميع العينات ولجميع الزوايا تبين ان متانة الانحناء لثلاث طبقات مدعمة بالألياف الزجاجية من الاييوكسي والبوليستر تزداد لطبقات الاييوكسي المدعم وتقل لطبقات البوليسترعند ارتفاع درجة الحرارة .

ولنفس السبب أعلاه .وللعينات(0°.45° .90°) تزداد المتانة لجميع العينات ولجميع درجات الحرارة ولكل الزوايا لوجود الزاوية (0°.) وعند الصفيحة ذات الطبقات المائلة المتناظرة

$_s$ (°0 °45 °90) تزداد المتانة لجميع العينات لكل درجات الحرارة وكل الزوايا بسبب خاصية التناظر حول السطح الاوسط ولوجود الزاوية (°0) عند السطح العلوي والسفلي للعينة التي تعطيها متانة اعلى .

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات:

1.عند زيادة درجة الحرارة تقل متانة الانحناء بالنسبة للعينات المدعمة بطبقات الألياف الزجاجية البولي استر ولجميع العينات .

2. عند زيادة درجة الحرارة تزداد متانة الانحناء بالنسبة للعينات المدعمة بطبقات الألياف الزجاجية الايبوكسي ولجميع العينات .

3. إن التقوية بالطبقات يزيد من الخصائص الميكانيكية للمادة المتراكبة.

4. وجد أن اكبر قيم للمتانة كانت عند الصفيحة الطبقية الأحادية الاتجاه الموازية لمحور التحميل أي الزاوية صفر.

5. وجد أن اقل قيمة للمتانة كانت عند الصفيحة الطبقية أحادية الاتجاه التي لها زاوية اتجاه الألياف في الرقاقة 90^0 .

التوصيات:

1. إمكانية دراسة تأثير نظام طبائقي آخر ودراسة تأثير متانة الانحناء .
2. استخدام خليط من الايبوكسي والبولي استر كمادة أساس بعد مزجهما فيزيائيا بنسب وزنية محددة ثم تدعم بمواد التدعيم المستخدمة نفسها في البحث وتتم بعد ذلك دراسة الاختبارات الميكانيكية .
3. استعمال أنواع أخرى من الراتنجات وكذلك أنواع أخرى من الصفائح الطبقية ودراسة تأثير المتانة على خواصها الميكانيكية .
4. دراسة إمكانية زيادة عدد الطبقات وتأثيرها على الخواص الميكانيكية (المتانة).
5 . استخدام انواع اخرى من الصفائح بزوايا مختلفة ودراسة تأثير المتانة عليها .

المصادر: Reference

[1] فريد بلمبير، ترجمة: د.صلاح محسن عليوي، "أساسيات علم البوليمر"، كلية العلوم، جامعة الموصل،(1971).

[2] V. Raphanvan, "Material Science& Engineering A frist Course", 2nd ed., Prentice –Hall of India Private Limited,New Delhi ,(1979).

[3] W.D.Callister ,Jr ."Materials Science and Engineering An Introduction", John Wiley and Sons ,Inc.,(2000)

[4] وسن جبار مناتي ،"دراسة السلوك الفيزيائي لمادة متراكبة بوليمرية دقائقية "، رسالة ماجستير ،قسم العلوم التطبيقية – الجامعة التكنولوجية ،(2005).

[5] D. B. Miracle, S. L. Donaldson, "Composites", Published by the ASM International Handbook Committee, Vol .21, (2001).

[6] Y. K. Jabbur , "Study of the physical properties of a composite polymer", Degree of Master of Science in physics ,College of Science ,AL-Mustansiryah University ,(2005).

[7] Elena Valentina Stoian ,Cristina Zizi Rizesc, Jana Pintea ,Dan Nicole and Criste Peter , "Obtaining and Characterization of Compositr Materials with Polymeric Matrex ",J. of Geology ,Vol .3 ,No.3 ,(2009)

[8] L.Holliday “Composite Material” Elsevier Publishing,London,(1966).

[9] لميس علي خلف " دراسة الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لمتراكبات البولي استر غير المشبعة والمدعمة بألياف الزجاج والياف النايلون" رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجة (2006).

[10] N.G.Mccrum, C. P. Buckley and C. B. Bucknall “Principles of Polymer Engineering”John Wiley and Sons, New York,(1997).

د. كوركيس عبد الله ادم، ود. حسين علي كاشف الغطاء، " تكنولوجيا وكيمياء البوليمرات" [11] مطبعة جامعة البصرة، (1983).

مالكوم ب. سيفنس، ترجمة د. كاظم غياض، ود. قيس عبدالكريم ابراهيم، " كيمياء البلمرة " [12] قسم الكيمياء ، كلية العلوم ، جامعة البصرة، (1984) .

د. اكرم عزيز محمد " كيمياء اللدائن " دار الكتب للطباعة والنشر ، (1993) . [13]

سلمان رفقة عامر، " دراسة الخواص الميكانيكية والحرارية لمتراكب بوليمر عضوي " رسالة [14] بوليمر لا عضوي ، ماجستير ،قسم علوم الفيزياء ، جامعة بغداد (2012) .

[15] Shackelford ,James F., " Introduction Material Science For Engineers " University of Califon by Person Induction" (2009) .

عيسى، هند وليد عبد الله، (2012) ، " دراسة خاصيتي الكلال والانثناء لراتنج الايبوكسي [16] المدعم بألياف الكفلر والزجاج ومتراكبات هجينة "، رسالة ماجستير ، قسم علوم الفيزياء / جامعة بغداد.

[17] Tewari , Maneesh , Singh , V. K. , Gope P. C. and Chaudhary , Arnn K., " Evalution of Mechanical Properties of Bagasse-Glass Fiber Reinforced . Composite " J.Mater. Environ . Sci. 3(1) ,171-184(2012) .

[18] V. B. Gupta, R. K. Mittal and Malti Goel , " Energy Absorbing Mechanisms in Short-glass –fiber reinforced Polypropylene ", Composites Science and Technology , vol. 37 (1990) .

احمد علي مكي ، " دراسة الخواص الميكانيكية لمواد مركبة باستخدام مسحوق معدني "، [19] رسالة ماجستير ، الجامعة التكنولوجية ، قسم هندسة المكائن والمعدات ، (2001) .

[20] Cs. Varga, N. Miskolczi, L. Bartha and G.Lipoczi, " Improving the Mechanical properties of glass-fiber-reinforced polyester composites by modification of fiber surface", Cs. Varga et al. /Materials and Design 31 (2010) .

[21] D. E. Mouzaki, A Zoga and C. Galiotis , " Accelerated environmental ageing study of polyster / glass fiber reinforced composites (GFRPCs) " , Composites Part B-Engineering . Vol. 39 No. 3, pp.467-475, (2008) .

[22] James K.Wassel ," Handbook of Advanced Materials " , A. John Wiley and Sons . Inc. , New Jersey . (2004) .

[23] Murphy J. ," Additives for plastics handbook " , 2^{nd} Ed. , Elsevier Advance Technology , (2001) .

[24] Biron , M. 2003, " Thermosots and Composite " Elsever Science Ltd.

[25] Derek. Hull "Introduction to Composite Materials", C. Cambridge University Press, (1981).

[26] R. C. Hibber ″ Mechanics of Materials ″, Sixth Edition , Pearson Prentice Hill, (2005).

[27] K. Othman , " Encyclopedia of Chemical Technology " Tom Wiely and Son Inc. Canada , (1982) .

[28] K. Wenfeng, R. Ashley, " Anew Amine Promotor for Low –Temperature of MEKP Initiaed Unsatuated polyster Resin System " , Composite Research Journal , Vol. 1 , Issue4 , P, 14 , (2007) .

[29] Li Mei , " Temperature and Mositure Effectson Composites Materials for Wind Turbine Blades " , Thesis , Montana State Univercity , Bozenman , March , (2000) .

[30] Jeffery Powell E , Tonyccutt Tngela H ," Reactive Copromoter for Unsaturated Polyester Resin " America Composites Maunfactures Association Composites and Polycon , October , (2007) .

[31] M. Biron , " Thermoplastics and Thermoplastic Composite " .1^{st} Edition , Burlington , MA: Elsevier , (2007) .

[32] رامي وعلي ، منصور وهترة، " تأثير المالئات العضوية على منحنيات التصلب لمركبات البولستر غير المشبع "، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية ، سلسلة العلوم الهندسية، المجلد 27، العدد 1، (2005).

[33] زكي الحجي، سراج يوسف، محمد حسان خريطة " تحضير بوليمرات ملائمة للتدريع ودراسة خواص متراكب البولي استر مع أملاح معادن ثقيلة " هيئة الطاقة الذرية السورية، كانون الأول، (2010).

[34] محمد إسماعيل عمر" موسوعة خامات البلاستيك " دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع القاهرة، (2002).

[35] الشمري سيناءابراهيم حسين ، (2005) ، " قياس معامل يونك ، متانة الصدمة والتوصيلية الحرارية لمتراكبات الايبوكسي والبولي استر غير المشبع المدعمة بطبقات هجينة بألياف الكفلر والكاربون " ، رسالة ماجستير ، قسم علوم الفيزياء / جامعة بغداد .

[36] أوهام حميد محمد، " مقارنة قيم متانة الانحناء لمادة بوليميرية وأخرى متراكبة ليفية بطريقتي الانحناء ثلاثي ورباعي النقطة" ,Journal of college of education, No1, قسم العلوم التطبيقية / الجامعة التكنولوجية، (2017).

[37] Sihama. J. H. " Studying the Flexural Properties and max shear stress of self cure pmma resin for denture application " the Iraqi Journalfor materials Engineering , Vol.17 Dec. (2017).

[38]. Al-Ajaj , Ikram A., Abd, Muhannad M. and Jaffer, Harith I.،" Mechanical Properties of Micro and Nano TiO2/Epoxy Composite ",

International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMMME) Volume 1, Issue 2 ISSN 2320–4060(2013).

[39] مسار نجم عبد ،" تأثير أضافة زجاج الشموع التالفة على بعض الخواص الميكانيكية للبولي استر" ، مجلة جامعة بابل للعلوم الهندسية ،المجلد 21 ، العدد 3 ، (2013).

[40] علي حسين،عتيوي ، إسماعيل، ليث وضاح، عبدالله، أسيل محمود، دراسة بعض الخواص الميكانيكية لمادة بوليمرية مدعمة برايش ومسحوق النحاس "،مجلة الهندسة، المجلد18، العدد5(2012).

[41]Abd ,Muhannad M., Jaffer ,Harith I. and Al-Ajaj, Ekram A، "Comparison study of some mechanical properties of micro and nano silica EP composites",Iraqi Journal of Physics, Vol. 10, No.18,(2012) PP. 62-68.

[42] سعيد، اريج رياض ورفيق,وسيوينج نور الدين ، ،"دراسة الخصائص الميكانيكية لمتراكبات البولي اثيلين المدعم بدقائق مسحوق الصدف "،مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد29، العدد15(2011).

[43] Dr. Jawad Kadhim. "Experimental Study of Flexural Strength of Laminate Composite Material", Eng. and Technology Vol.25, Supple. Of No.3, (2007) .

[44] Abass, R. A., and Sallah, R. M., "Study the Effect of Temperature on the Mechanical and Thermal Properties of a Substance Composites Hybrid," Journal of Education College, The University of Mustansiriya, Vol. 1, No. (2005) 1, pp. 157-176,.

[45] Ozdil. F. and L. Carlsson . ″ Beam analysis of angle-ply laminate ACB specimens . ″ Composites Science and Technology 59.2 (1999): 305-315.

[46] J. R. Vinson, Tsu-Weichou, "Composite Materials and Their Use In Structure" Applied Science Publishers LTD, London, (1975).

أوهام محمد سعيد "دراسة تأثير التدعيم بالألياف على بعض الخصائص الفيزيائية لمادة متراكبة" رسالة ماجستير، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية، (2000).

[48] P. Sheldon , ″ Composite Polymeric Materials ″ School of Materials Science Publishing , London , (1982).

[49] فراس فؤاد عبدالله ، ″ تأثير الظروف البيئية على آلية الكسر بالصدمة لمتراكبات هجينة ″ رسالة ماجستير ، قسم العلوم التطبيقية ، الجامعة التكنولوجية ، (2002) .

[50] G. Piatti, ″ Advances in composite Materials ″, Applied Science Publishers LTD, (1978) .

[51] J. G. Morley ″ High Performance of Fiber Composites ″ University of Nottingham U.K. (1987) .

[52] R. B. Seymour , ″ Polymeric Composite ″ , Alden Press, London , (1990) .

[53] L. J Broutman and R.H . Krock , ″ Modern Composite Materials ″ , Eddison , Wisely London , (1967) .

[54] A. D. Jayatikaka ″ Fracturer of Engineering Brittle Materials ″ , Applied Science , London , (1979) .

[55] W. D. Callister , J. R. ″ Materials Science and Engineering An Introduction ″ , 6^{th} Edition John Wiley and Sons, Inc, New York,(2003) .

[56] A. A. Berlin, S. A. Volfson, ″ Principles of Polymer Composites ″ Springer– Verlage, New York, (1986).

[57] I. M. Gaylord , ″ Reinforced Plastics Theory and Practice ″, Canners Publishing Com, (1974).

الجبوري ، سمارة جاسم محمد ، (2008) ، " دراسة بعض الخصائص الميكانيكية لمتراكب [58] بوليمر – سيراميك " ، رسالة ماجستير ، قسم الفيزياء / جامعة بغداد .

روبرت م . جونز " ميكانيك المواد المتراكبة " ترجمة رفيع جبره ، سلسلة كتب [59] التقنياتالاستراتيجية المتقدمة ، مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية ، المنظمة العربية للترجمة، السعودية. (1975).

[61] P. R. Vemurugan, " Composite Materials ", Dept. of Aerospace Engg, Indian Institute of Technology, Madras.Lecture 29

[62] W. Johnson and P. B. Meller " Engineering Plasticity ", John Wiley , and Sons , (1983) .

حيدر سلمان محمد ، سمية محمد عباس ، صباح عجيب قاصد ، مظفر يعقوب حسين ، "[63] دراسة تأثير اضافة الزجاج على الخواص الفيزيائية للبوليمر PVC والمتراكب PVC/PMMA " ، مجلة الكوفة الهندسية ، مجلد 3 ، العدد 1 ، (2011) .

محمد اسماعيل عمر " الجودة واختبارات مواد البلاستيك " دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع،[64] القاهرة ، (2001) .

د.ج. ديفيز، ول.أ.اويليمان،ترجمة د.جعفر طاهر الحيدري،السيد عدنان نعمة،"المعادن، [65] بنيتها وخواصها ومعاملاتها الحرارية"،الجامعة التكنولوجية، (1989) .

رسن ، علي حسن (2004) ،"دراسة السلوك الميكانيكي والحراري لمواد متراكبة [66] هجينة "، رسالة ماجستير، قسم العلوم التطبيقية ،الجامعة التكنولوجية.

[67] Hodgkhinson ،J.M. , (2000),"Mechanical Testing of Advance Fiber Composite" Wood head Publishing Ltd *J* CRC Cambridge، England press LLC.

[68] Askeland R. Donald and Phule , Pradeep P., " The Science and Engineering of Material "ed. PWC(2006).

[69] Strong , A. Brent , " Plastics Material and Processing " 2^{th} edition by USA(2000).

[70] Takahashi , K., " Analysis of the Effect of Interfacial Slippage on the Elastic Moduli of a particale – Filled Polymer " , Journal Polymer Science , Vol. 16(1977) , pp. 959.

[71] نجاح عليان المسعودي ، " دراسة تأثير الظروف البيئية لمتراكبات البولي اثلين عالي الكثافة المدعم باسود الكاربون " ، رسالة ماجستير ، كلية العلوم ، جامعة بابل ، (2004) .

[72] M. S. Bhatnager ," Chemistry and Technology of Polymer " , Published by S Chand and Company Ltd , Ram Nager , New Delhi , Vol. 2, (2004) .

[73] توفيق، حسين عبد الوهاب،2007،"دراسة الخواص الميكانيكية والديناميكية للمتراكبات الخرسانية الهجينة"، رسالة ماجستير، قسم علوم الفيزياء / جامعة بغداد

[74] http:// www.amzon.com /details.asp." Resin for Composite Materials".

[75] Petrtti Auerkari,." Mechanical and Physical properties engineering alumina ceramics(1996) .

[76] Marc Anddrew Megers ,Krishan Kumar chalwla , " Mechanicals Behavior of Materials ", Prentice Hall, New Jersey , (1999) .

[77] A. M. Henry, " Composite Materials ", Ch 4 Description of Composite Materials, ETL 1110-2-548,(1997).

[78] R.J . Crawfor,"Plastic Engineering", 2^{nd} ed, Pergamon Press,V.K, (1987)

[79] Brain S. Mitchell, " An Introduction to Materials Engineering and Science for chemical and Materials Engineering", 1^{th} Edition, John Wily and Son, Inc,(2004).

[80] Gutowski , Timothy G. " A. Breif Introduction to Composite Materials and Manufacturing Techniques " . In Advanced Composite Manufacturing , New York , Join Wiley , (1997) .

[81] Sikadur$^{(R)}$-52, Low Viscosity Injection Resin, Product Data Sheet, Edition 2,2015 , Version no. 12.2014, www.Sika.com.eg

Summary

This research aims to study the behavior of the Flexural strength of epoxy and polyester (as a base material) and are supported by fiberglass These materials have been)، %25layers, fracture and weight (12% prepared by hand Lay-up molding using a laminated system consisting of a unidirectional laminate Symmetrical and Un-symmetric laminate at *and the study* different angles it is $[90^{\circ}]_6$,$[45^{\circ}]_6$,$[0^{\circ}]_6$ $[90^{\circ},45^{\circ},0^{\circ}]_s$ *of another* laminated *system consisting of angles of three layers* $[90^{\circ},45^{\circ},0^{\circ}]$ *The two systems were compared* ، $[90^{\circ}]_3$,$[45^{\circ}]_3$,$[0^{\circ}]_3$ *where the results obtained from the three-point* Flexural *strength test showed increase the* Flexural *strength of the* unidirectional *angles*$[0^{\circ}]_3$,$[0^{\circ}]_6$ *Where this angle gave the highest values for the the .Flexural Strength at temperatures* $(25,50,100,125)°C$ *all of them angle* $[45^{\circ}]_6$,$[45^{\circ}]_3$,$[90^{\circ}]_6$, $[90^{\circ}]_3$ It gave values much lower than the angle $[0^{\circ}]_6$,$[0^{\circ}]_3$ because the values begin to fall sharply when the angle is higher than $[8^{\circ}]$ and when processing the samples thermally (post Flexural curing) It was found that when the temperature increases, the strength of all fiber glass epoxy samples increases because fiberglass- When the temperature on .reinforced epoxy material ductile behavior glass fiberglass samples is higher than glass fiber epoxy samples, the Flexural strength decreases because the supporting material showed a brittle behavior. When comparing the six-layer laminated system with three layers, it was found that the strength increased slightly with the increase of .the layers in all samples. and at all temperatures

Republic of Iraq
Ministry of Higher Education and Scientific Research
University of Al – Qadisiyah
College of Education
Department of Physics

Study the effect of Direction, volume Fraction and temperature on the bending strength properties of polymer laminates reinforced by E-glass fiber

A Thesis
Submitted to Department of Physics
Council of the College of Education University of Al Qadisiyah It is part of the requirements for a master's degree in physics

AbduLrahman Rashid Mohammed Rashid
Supervisor by
Assistant Professor Dr. Hisham Mohammed Ali Hasan Al-Bermany

1440A.H **2019A.D**

.