

مذكرة ماستر

الهندسة الميكانيكية
إنشاء ميكانيكي
رقم:

إعداد الطلبة:

محمد عشاش

إسماعيل رحمون

يوم: 2022/06/27

تطوير وتوصيف مادة مركبة صفائحية معززة بألياف نخيل التمر

لجنة المناقشة:

مقرر	جامعة بسكرة	أستاذ محاضر.ب	يوسف جبلون
رئيس	جامعة بسكرة	أستاذ محاضر.ب	عرفاوي بن عرفاوي
مناقش	جامعة بسكرة	أستاذ محاضر.ب	حسين الجمعي

الإهداء

الحمد لله وكفى والصلاة على الحبيب المصطفى وأهله ومن وفى أما
بعد:

الحمد لله الذي وفقنا لتثمين هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية
بمذكرتنا هذه ثمرة الجهد والنجاح بفضلته تعالى مهداة للوالدين
الكريمين حفيظهما الله وأدامهما نورا لدربي.

لكل العائلة الكريمة التي ساندتنا وإلى رفقاء المشوار الدراسي
وإلى كل الأصدقاء دون أن ننسى الأستاذ الدكتور الفاضل **يوسف جبلون**
الذي لم يبخل علينا بالنصح والتوجيه وتقديم التصويبات لهذا العمل
البحثي.

مُجدّ عشاش
إسماعيل رحمون

الفهرس

1	.....المقدمة العامة
2	.....الفصل 1: عموميات حول المواد المركبة
2	.....المقدمة
2	.....1 تعريف المادة المركبة الحيوية
2	.....2.1 تصنيف المواد المركبة
3	.....3.1 المادة المركبة الحيوية
3	.....1.3.1 عناصر المواد المركبة الحيوية
6	.....4.1 الألياف الطبيعية ذات أصل نباتي
6	.....1.4.1 ألياف الثمار والفواكه
7	.....2.4.1 ألياف الأوراق
7	.....3.4.1 ألياف السيقان
8	.....4.4.1 إيجابيات وسلبيات الألياف العضوية كمقويات ومعززات للمواد المركبة
8	.....5.1 طرق تشكيل المادة المركبة
8	.....1.5.1 التشكيل بالتلامس
9	.....2.5.1 قولبة الفراغ
10	.....6.1 مجال استخدام المركبات الحيوية
12	.....7.1 مزايا وعيوب المواد المركبة
13	.....الفصل 2: السلوك المرن للمواد المركبة
13	.....المقدمة
13	.....1.2 معلومات عامة عن السلوك المرن للمادة
13	.....1.1.2 المرونة الخطية
14	.....2.1.2 مادة متباينة الخواص
14	.....3.1.2 مادة أحادية الميل
15	.....4.1.2 المادة ثنائية الميل
15	.....1.5.2 مادة متعامدة مع الخواص المستعرضة
16	.....6.1.2 المادة المتجانسة
17	.....2.2 السلوك المرن للمواد المركبة الصفائحية
17	.....1.2.2 السلوك المرن لمادة مركبة أحادية الإتجاه
18	.....3.2 السلوك المرن لمواد مركبة صفائحية
18	.....1.3.2 السلوك المرن لطبقة صفائحية خارج المحاور
20	.....4.2 السلوك المرن للمركب الصفائحي
20	.....1.4.2 نظرية التصفيح الكلاسيكية
23	.....2.4.2 معادلة سلوك المركب الصفائحي

25	..... الفصل 3: تحضير المادة المركبة المستعملة وتوصيفها
25	..... مقدمة
25	..... 1.3 المواد الأولية المستعملة في الدراسة
25	..... 1.1.3 رانتج الإيبوكسي
25	..... 2.1.3 خصائص الرانتج إيبوكسي (resin)
25	..... 3.1.3 الألياف المستعملة
26	..... 4.1.3 خصائص الياف الليف
26	..... 5.1.3 تحضير حصائر التقوية
29	..... 6.1.3 خصائص حصيرة ليف المستعملة في دراستنا
29	..... 2.3 تشكيل المادة المركبة الصفائحية
30	..... 3.3 إعداد العينات
32	..... 4.3 اختبار الشد
33	..... 5.3 النتائج والمناقشة
37	..... الخاتمة العامة
38	..... قائمة المراجع

فهرس الأشكال والجداول

قائمة الأشكال:

- الشكل 1.1: مكونات المادة المركبة 02
- الشكل 2.1: التصنيف العام للمواد المركبة 03
- الشكل 3.1: مصفوفة المواد المركبة 03
- الشكل 4.1: تصنيف الألياف 06
- الشكل 5.1: ألياف الثمار والفواكه "جوز الهند" 07
- الشكل 6.1: ألياف الأوراق 07
- الشكل 7.1: الياف السيقان "ساق البامبو" 08
- الشكل 8.1: القولية بالتلامس 09
- الشكل 9.1: قولبة الفراغ 10
- الشكل 10.1: تصميم وتطبيقات مبتكرة للمركبات الحيوية من ألياف الخيزران 10
- الشكل 11.1: استخدامات الألياف الطبيعية في القطاع العسكري 11
- الشكل 12.1: تطبيقات البلاستيك المقوى بالألياف الطبيعية في منتجات البناء 11
- الشكل 13.1: بعض تطبيقات الألياف الطبيعية في مجال السيارات 11
- الشكل 1.2: مستوي التماثل 14
- الشكل 2.2: مواد ثنائية الميل 15
- الشكل 3.2: سطح الخواص 16
- الشكل 4.2: مركب أحادي الاتجاه 17
- الشكل 5.2: المحاور الرئيسية (1،2،3) لطبقة من المحاور الرقائنية والمرجعية (1، 2، 3) 18
- الشكل 6.2: التشوهات في حالة النظرية الكلاسيكية للرقائق 20
- الشكل 1.3: موقع ليف نخيل التمر 26
- الشكل 2.3: الليف في حالة ابتدائية 27
- الشكل 3.3: الليف المختارة بعد التصفية 27
- الشكل 4.3: ليف مرحلة نهائية بعد غسل وتجفيف 27
- الشكل 5.3: شكل الليف قبل وضعه في آلة الضغط 28
- الشكل 6.3: الآلة الضاغطة 28
- الشكل 7.3: ليف على شكل حصيرة بعد ضغط 29
- الشكل 8.3: القولية بالتلامس 30
- الشكل 9.3: المادة المركبة من ثلاث صفائح 30
- الشكل 10.3: شكل نهائي للمصوفة بعد تجفيف 30
- الشكل 11.3: هندسة عينة الشد ليف إيبوكسي 31
- الشكل 12.3: آلة القطع بالليزر من نوع GY-9060 E 31
- الشكل 13.3: عينات اختبار الشد 32
- الشكل 14.3: آلة الشد من نوع أنسترون نموذج 5969 32
- الشكل 15.3: عينات شد بعد التمزق 33
- الشكل 16.3: نتائج إختبار الشد الراتنج 33
- الشكل 17.3: نتائج إختبار الشد ليف-راتنج 34
- الشكل 18.3: مقارنة المادة المدروسة بمادة مركبة مقواة بألياف زجاجية 36

قائمة الجدول

05	الجدول 1.1: الخواص الميكانيكية للراتنج.....
06	الجدول 2.1: خصائص ميكانيكية للألياف العضوية.....
08	الجدول 3.1: إجابيات وسلبيات الاليف العضوية.....
26	الجدول 1.3: يوضح خواص ميكانيكية الاليف ليف نخيل الغرس.....
35	الجدول 2.3: نتائج إختبار الشد راتنج.....
35	الجدول 3.3: نتائج إختبار الشد ليف- راتنج.....

المقدمة العامة

المقدمة العامة

في ستينيات القرن الماضي بدأ انتشار المواد المركبة، وهي المادة المكونة من مادتين مختلفتين متميزتين أو أكثر، أولهما مادة تعزيزية قد أن تكون على شكل ألياف مصنوعة من مواد عالية المقاومة (كألياف الكربون والزجاج)، والمادة الثانية هي إحدى اللدائن أو البوليمرات التي تعطي المنتج النهائي شكله المطلوب وتسمى المادة الحاضنة أو المصفوفة.

المواد المركبة موجودة منذ القدم، أما الوقت الحاضر نجدها في جميع المجالات وفي كثير من الميادين حولنا، فنجدها في إنتاج الأجزاء الهيكلية بمختلف الأحجام وفي العديد من القطاعات ابتداء من السيارات إلى المباني وغيرها.

وقد انتشرت المواد المركبة انتشارا هائلا وسريعا خلال فترة قصيرة من عمرها نظرا لخواصها الميكانيكية العالية مقارنة بكتلتها الحجمية المنخفضة. إن كل الأشياء المصممة من المواد المركبة المقواة بالألياف الكربون أو الزجاج يفترض لها عمر طويل، ولذا فإن المواد الداخلة فيها غير قابلة للتحلل لكن هذه الخاصية في الأونة الأخيرة غير مرغوب فيها نظرا لصعوبة التخلص من هذه المواد المركبة بعد انتهاء عمرها الافتراضي. وهناك طريقتان تقليديتان للتخلص منهما أولاها بوضعها في مدافن الخاصة، والثانية بحرقها في المحارق الخاصة.

لكن كلا الطريقتين مرتفعة الكلفة من ناحية، ومسببة لتلوث البيئة. لهذه الأسباب فقد اتجهت الأبحاث في الأونة الأخيرة نحو التوصل إلى مواد مركبة تكون قابلة للتحلل عضويا بحيث تتحلل في التربة بعد دفنها، أي كالكائنات الحية بعد موتها. أو تكون قابلة لإعادة التدوير بعد انتهاء عمرها الافتراضي واستغلالها من جديد.

انطلاقا من هذه الإشكالية، أردنا في عملنا هذا خلق مادة مركبة صديقة للبيئة والإنسان ذات مصدر نباتي (عضوي)، فاعتمدنا على ألياف ليف النخيل التمر لمدينة أولاد جلال، مغمورة في الراتنج الإيبوكسي. ومنه تهدف هذه الدراسة إلى إنشاء ودراسة مادة مركبة صفائحية عضوية صديقة للبيئة مقواة بحصائر من الألياف ليف نخيل التمر.

تتضمن هذه الأطروحة بالإضافة إلى مقدمة عامة وخاتمة عامة جزأين رئيسيين:

1- الجزء البحث المرجعي يحتوي على فصلين:

الفصل الأول، هو عبارة على بحث عام حول المواد المركبة العضوية خاصة الألياف النباتية خصائصها والخواص الفيزيائية والميكانيكية.

الفصل الثاني: في هذا الفصل نهتم بتعريف السلوك الميكانيكي المرن للمواد المركبة مع التعزيز ودراسة السلوك الميكانيكي للمواد المركبة الصفائحية.

2 - الجزء التجريبي يحتوي على فصل واحد:

الفصل الثالث: في هذا الفصل نقدم الجزء التطبيقي من هذا العمل، بالتركز على اختيار نوع التعزيز والراتنج ومدى توافقهما. طرق وخطوات اللازمة لتحضير المادة المركبة الصفائحية. ثم توصيف المادة بإجراء اختبارات الشد.

الفصل الأول:

عموميات حول المواد المركبة

الفصل 1: عموميات حول المواد المركبة

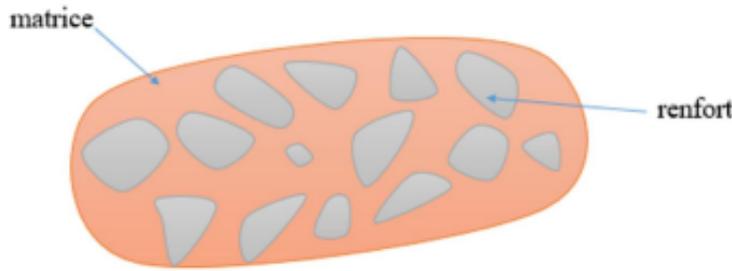
المقدمة

في هذا الفصل نقدم تعريفاً للمواد المركبة مع تعزيزات حيوية، ونضع سياق تطوير واستخدام هذه المنتجات. تعد معرفة التركيب الكيميائي لكل مكون ضروريًا لفهم دراسة التفاعلات بين ألياف التعزيز والمصفوفات. في هذه الدراسة الببليوغرافية، نقتراح تقديم وصف للمكونات المختلفة المستخدمة في تشكيل المواد المركبة عن طريق تجميعها حسب الفئة. سيتم بعد ذلك شرح بعض تقنيات التصنيع المختلفة وربطها بأنواع المكونات المستخدمة. ثم نقتراح عرض بعض مجالات تطبيق المواد المركبة المقواة بألياف نباتية.

1. تعريف المادة المركبة الحيوية

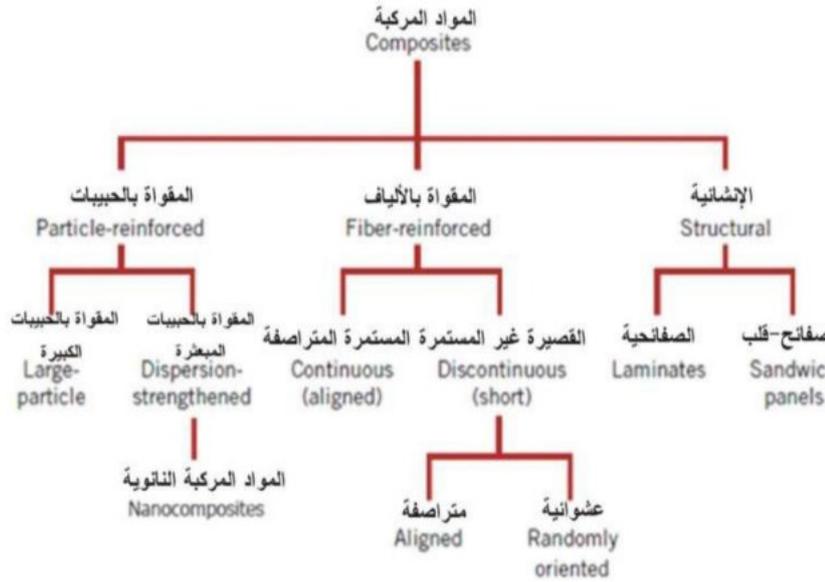
المادة المركبة الحيوية هي مادة غير متجانسة تتكون من عنصرين على الأقل. يشغلان أطوار مختلفة، والتجميع النهائي له خصائص فيزيائية وميكانيكية تفوق خصائص كل مادة من المواد المكونة على حدٍ. [1]

المكونان الأساسيين للمادة المركبة هي المصفوفة والتعزيز. يمكن إدراج إضافات إلى هذين المكونين الرئيسيين مما يجعل من الممكن تعديل مظهر أو خصائص المادة النهائية. [2]



الشكل 1.1: مكونات المادة المركبة

2.1 تصنيف المواد المركبة



الشكل 2.1: التصنيف العام للمواد المركبة. [3]

تصنف المواد المركبة بشكل عام وفق نوعين من التصنيفات يرتبط النوع الأول من التصنيفات بطبيعية الطور الأول وهو الطور الربط بينما يرتبط النوع الثاني من التصنيفات بطبيعة الطور الثاني وهو الطور التعزيز.

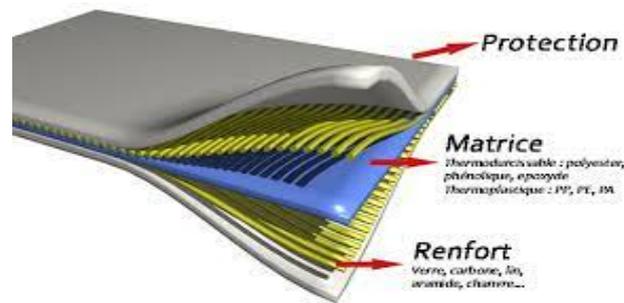
3.1 المادة المركبة الحيوية

المواد المركبة الحيوي هي مواد مركبة قابلة لتحلل في التربة أو قابلة لتدوير وتسمى أيضا مواد مركبة خضراء. تعتمد هذه المواد المركبة في تشكيلها على المكونات الحيوية صديقة للبيئة.

1.3.1 عناصر المواد المركبة الحيوية

أ. المصفوفة

المصفوفة هي العنصر الذي يربط الألياف بعضها البعض. ويقوم بتوزيع القوى داخل المادة المركبة (مقاومة الانضغاط أو الانحناء)، وتضمن كذلك الحماية الكيميائية للألياف، توجد عدة من المصفوفات الحيوية نذكر منها: [4]



الشكل 3.1: مصفوفة المواد المركبة. [5]

• مصفوفات الراتنج

هي بوليمرات تتخذ شكلها النهائي عند التبريد الأولي بعد التشكيل تحت تأثير الحرارة أو الضغط ، يكون انعكاس تحولها الفيزيو-كيميائي أمرًا مستحيلًا. الربط المتشابك (التبلور) هو العملية التي يتم من خلالها تحويل المادة الخام إلى مادة صلبة وغير قابلة للذوبان و الانصهار.

بفضل هيكلها المتشابك للغاية وتثبيت جزيئاتها، فإن هذه الراتنجات تتمتع بدرجة عالية من النقاء كما توفر مقاومة جيدة لسيالان في درجة الحرارة المحيط، على عكس اللدائن الحرارية. لهذه الأسباب يتم استخدامها غالبًا كعناصر هيكلية. كما أنها تستخدم في المواد المركبة لسيولتها قبل التشابك وأثناء المعالجة وكذلك لمقاومتها الحرارية. لديها مقاومة ميكانيكية كبيرة ونذكر منها:

- بوليستر الغير مشبع: بوليستر مكثف، إسترات فينيل، مشتقات أليليك، إلخ.

- راتنجات التكتيف: الفينول، الفورانك ، إلخ.

- راتنجات الايبوكسي.

- اليوريا، الميلامين ، الفورمالديهايد ، إلخ.

- الألكيد [6].

• المصفوفات البلاستيكية الحرارية

يتم اشتقاق اللدائن الحرارية من بولي مرات (خطية) متفرعة قليلاً. ولهذا السبب تنتشوه وتلين تحت تأثير الحرارة التي تترجم بتدفق السلاسل الجزيئية فوق بعضها البعض كما هي باردة، فتأخذ شكلا جديدا.

ومع ذلك، فإن الحساسية للحرارة تظل عيبًا رئيسيًا في ظروف العمل الحقيقية فقد تم تطوير راتنجات اللدائن الحرارية بمقاومة درجات حرارة عالية [7].

اليوم، يمكن للأجزاء المصنوعة من اللدائن الحرارية أن تغطي أي منها مجموعة من المنتجات، من المسامير وأجهزة الاستشعار إلى خزانات المياه الكبيرة ويمكن أن تشمل على أشكال معقدة مثل الطلاءات والمواد اللاصقة والرغاوى، البلاستيك المقوى ، وكذلك المواد المقاومة لدرجات الحرارة المرتفعة [6].

• المصفوفات المرنة:

تحتوي اللدائن على هياكل وخصائص مشابهة لتلك الموجودة في الراتنجات الحرارية، (يمكننا حتى إدراجها في عائلة اللدائن الحرارية)، و معروفة باسم "المطاط" وهي البوليمرات بقوة مرنة، فهي خاصة جدًا لأنها يمكن أن تتمدد عدة مرات أكثر من الطول الحقيقي لها ودائمًا ما يعودون إلى شكلهم الأولي دون الاحتفاظ بالتشوه. في عائلة اللدائن نجد:

- بولي إيزوبرين (مطاط طبيعي)،

- بولي بوتادين،

- بولي إيزوبوتيلين،

الفرق الرئيسي بين اللدائن الحرارية واللدائن المرنة هو درجة حرارة التحول الزجاجي أو ما يعرف بالترجيح. هذا الأخير أقل درجة من الحرارة المحيطة لللدن مما يجعلها صلبة وهشة أما عندما تكون فوق درجة الحرارة المحيطة للمطاط الصناعي مما يجعلها لينة ومرنة (هذه القاعدة صالحة فقط للبولي مرات عديمة الشكل).

تكون الرتجات الحرارية شديدة الارتباط بعضها البعض، مما يجعلها من الصعب إعادة تدويرها [7].

• الخصائص الميكانيكية الرئيسية للراتنج

الجدول 1.1: الخواص الميكانيكية للراتنج. [8][9]

	البوليستر	الايبوكسي	الفينول	بولي اميد
ϵ_r في شد (%)	2-5	2-5	2.5	-
ρ (Kg/m ³)	1200	1500-1100	1200	1130
σ_r في شد (GPa)	80-50	60-80	40	70
E في شد (MPa)	2.8-3.5	3-5	-	30

ب. التعزيزات

تساعد التعزيزات على تحسين قوة الشد الميكانيكي وصلابة المواد المركبة وتأتي على عدة أشكال مختلفة (ألياف عضوية وغير عضوية). [4]

• الخصائص المطلوبة للتعزيزات

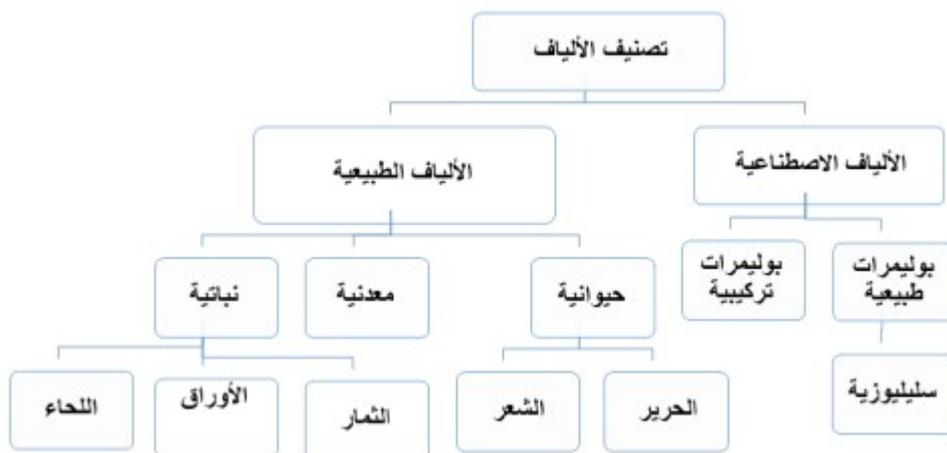
قوة ميكانيكية عالية، كثافة منخفضة، توافق جيد مع الرتجات، سهولة جيدة في التنفيذ، تكلفة منخفضة، إلخ. اعتمادًا على الاستخدامات، فإن التعزيزات تكون من مواد مختلفة: نباتية، معدنية و صناعية، عضوية و حيوية إلخ. ومع ذلك، فإن التعزيزات الأكثر استخدامًا تكون في شكل ألياف أو أشكال أخرى، وبشكل جزءًا حجميًا من المادة المركبة المكونة بشكل عام بين 0.3 و 0.7. تأتي تقوية الألياف في أشكال مختلفة: [10]

- في شكل خطي (خيوط، فتائل، إلخ) ،

- على شكل أقمشة سطحية (أقمشة بسيطة، حصائر، إلخ).

- في شكل متعدد الاتجاهات (ضفائر، أقمشة معقدة، إلخ).

• التعزيزات وتصنيفها



الشكل 4.1: تصنيف الألياف. [11]

• الخصائص الميكانيكية للألياف النباتية (العضوية)

بشكل عام، تعتبر الألياف العضوية مناسبة لتقوية المصفوفات المتلدنة بالحرارة واللدائن الحرارية، وذلك بفضل قوتها وصلابتها العالية نسبياً وكثافتها المنخفضة. تتمتع الخواص الميكانيكية للألياف النباتية (العضوية)، بالعديد من المزايا لتقوية المواد المركبة. كما يوضح (الجدول 1.2) بعض من الخصائص الألياف النباتية. [12]

الجدول 2.1 : خصائص ميكانيكية للألياف العضوية. [13]

نوع الألياف							الخصائص
القطن	أبাকা	السيزال	جوز الهند	الجوت	القنب	الكتان	
1.51	1.5	1.33	1.25	1.46	1.48	1.4	الكثافة
400	980	700-600	220	800-400	900-50	1500-800	قوة الشد (MPa)
12	-	38	6	30-10	70	80-60	معامل مرونة (Gpa)
8	-	29	5	21-7	47	46-26	E / الكثافة
10-3	-	3-2	25-15	1.8	1.6	1.6-1.2	استطالة الكسر %
25-8	-	11	10	12	8	7	امتصاص الماء %

4.1 الألياف الطبيعية ذات أصل نباتي

1.4.1 ألياف الثمار والفواكه

تعتمد أساساً على الثمار أو الحب، قصيرة ورقيقة مثل ألياف جوز الهند ، ألياف القطن الذي يعتبر من الألياف الطبية الأكثر تواجداً في العالم. وقد تجاوز حديثاً إنتاجه إنتاج الألياف التركيبية تريفثالآت بولي إيثيلين [14]



الشكل 5.1: ألياف الثمار والفواكه "جوز الهند" [15]

2.4.1 ألياف الأوراق

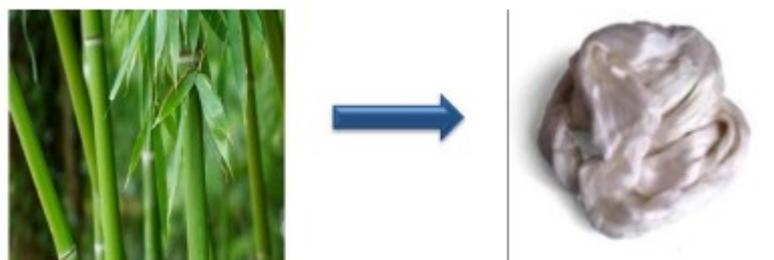
هي عادة الأكثر طولاً بسبب كبر حجم الأوراق، وتستعمل في النسيج الخيوط وتستعمل كمواد أولية لصناعة الحبال والخيوط المقتولة مثل ألياف السمار والحلفاء. [14]



الشكل 6.1 : ألياف الأوراق. [15]

3.4.1 ألياف السيقان

وهي على شكل حزم من الألياف منها التي تنقل الماء من الجذور إلى الأوراق وأخرى مسؤولة عن ربط نهايات الألياف ومن بينها ألياف الكتان. [14]



الشكل 7.1: اليف السيقان "ساق البامبو" [15]

4.4.1 إيجابيات وسلبيات الألياف العضوية كمواد ومعززات للمواد المركبة:

الجدول 3.1: إيجابيات وسلبيات الاليف العضوية: [16]

السلبيات	الايجابيات
<ul style="list-style-type: none"> • امتصاص عالي للماء • ألياف غير ثابتة الأبعاد • تغير النوعية والخواص بناء على بيئة النشأة والمناخ • ألياف متباينة الخواص 	<ul style="list-style-type: none"> • تكلفة ضعيفة • تحلل حيوي • لا إثارة جلدية أثناء التعامل معها • مصادر قابلة للتجديد • مقاومة وصلابة • عزل جيد للحرارة والصوت

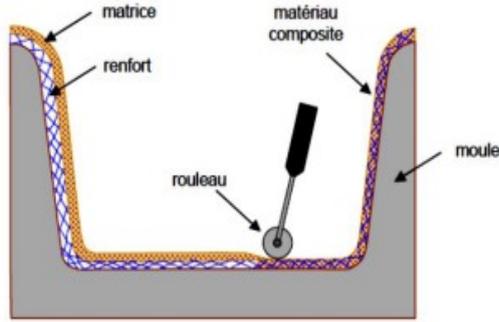
5.1 طرق تشكيل المادة المركبة

من المتطلبات الأساسية في اختيار طريقة تشكيل المادة المركبة هو التقليل قدر الإمكان من تكوين الفراغات. اما المطلوب الآخر بنفس الأهمية، وهو أن نضمن التوزيع المتساوي للراتنج والألياف في القالب.

نظرًا لمزايا المركبات من حيث الصلابة والقوة وتقليل الوزن، يجب مراعاة الزيادة المقابلة في تكاليف المواد وعمليات التصنيع.

1.5.1 التشكيل بالتلامس

قبل التشكيل، يتم تغليف القالب بمادة تسمح بإزالة القطعة المشكلة بسهولة. هذه المادة عبارة عن طبقة رقيقة من راتنج يسمى "جل-كوت". يتم تنفيذ عملية التشكيل وفقًا للعمليات التالية (الشكل 8.1):

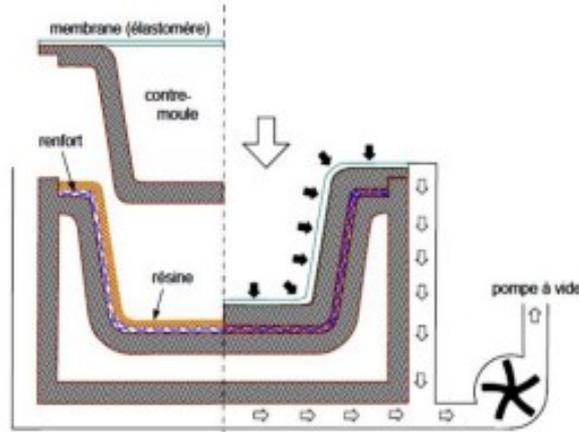


الشكل 8.1: القوالب بالتلامس [17].

1. القالب مطلي براتنج محفز ومسرّع، بواسطة الفرشاة أو الأسطوانة.
2. التعزيز: حصيرة، قماش، إلخ، يوضع في القالب.
3. يتم بعد ذلك تشريب التعزيز بالمصفوفة، ثم يتم إزالة الفراغات باستخدام أسطوانة مدببة.
4. بعد الطبقة الهلامية الأولى، يتم وضع طبقات لاحقة باستخدام نفس التقنية.
5. عملية إزالة القوالب بعد الوقت تجفيف و تصلب الراتنج وذلك بتعريضها إلى درجة الحرارة (حوالي 10 ساعات).
6. يتم إجراء البلمرة بعد ذلك في بيئة محيطة لعدة أسابيع. يمكن تسريع عملية البلمرة اختياريًا عن طريق التسخين (على سبيل المثال من 5 إلى 10 ساعات، حوالي 80 درجة مئوية)
7. بعد البلمرة، يتم الانتهاء من الأجزاء الغير مرغوب فيها: إزالة الحواف، الصنفرة، وأخيرًا الطلاء، إلخ. [17].

2.5.1 قوالب الفراغ

تتم عملية قوالب الفراغ بالاستخدام المتزامن للفراغ والضغط الجوي (الشكل 9.1).



الشكل 9.1: قولبة الفراغ [17].

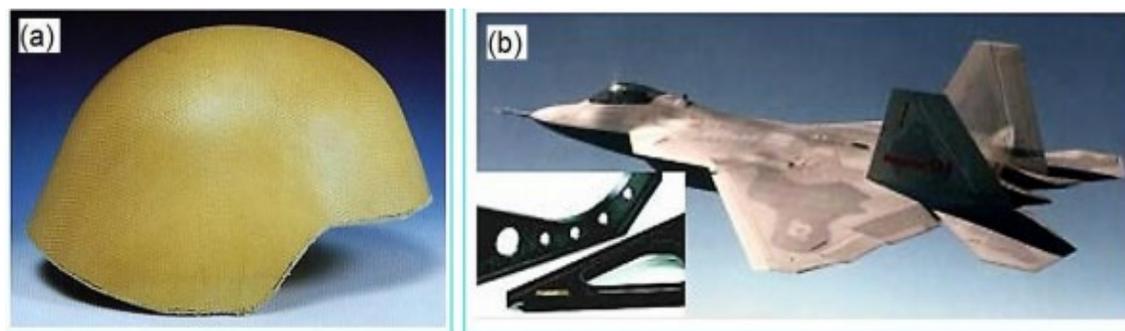
بعد الطلاء بطبقة هلامية، يتم وضع التعزيز على قالب صلب، ثم يتم صب القالب. يتم بعد ذلك تركيب القالب المضاد المغطى بغشاء مما يوفر مقاومة للماء (صفيحة مطاطية، نايلون، إلخ). تخلق مضخة التفريغ انخفاضاً من خلال القالب والقالب المسامي المضاد، والذي ينتشر الراتنج بينهما. يمكن أن يقتصر القالب المضاد اختياريًا على غشاء الختم وحده. عملية التشكيل هذه مناسبة لتصنيع الأجزاء في السلاسل الصغيرة والمتوسطة. يجعل من الممكن الحصول على صفات ميكانيكية جيدة، وذلك بفضل نسبة موحدة من الراتنج وتقليل شوائب الهواء. في حالة استخدام قالب مضاد صلب، يتم الحصول على مظهر جيد للسطح من كلا الجانبين. ومع ذلك، فإن معدلات الإنتاج بطيئة للغاية [17].

6.1 مجال استخدام المركبات الحيوية:

يتم استخدام تطوير حبيبات اللدائن الحرارية المقواة بألياف نباتية طبيعية في مجالات مختلفة (مستحضرات التجميل، السيارات، البستنة، الأجهزة المنزلية، أثاث الشوارع، والأدوات، وما إلى ذلك...) [18]



الشكل 10.1: تصميم وتطبيقات مبتكرة للمركبات الحيوية من ألياف الخيزران في: (أ) مطار Adolfo-Suárez و (ب) مرآب السيارات (حديقة حيوان Leipzig، ألمانيا) [19]



الشكل 11.1: استخدامات الألياف الطبيعية في القطاع العسكري

(a) خوذة عسكرية خفيفة الوزن قائمة على أساس مركب معززة بألياف طبيعية و (b) الأجزاء الهيكلية للطائرة المقاتلة Lockheed Martin "F-22 Raptor" المصنوعة من مركبات معززة بالألياف الطبيعية [20]



الشكل 12.1: تطبيقات البلاستيك المقوى بالألياف الطبيعية في منتجات البناء [21]



الشكل 13.1: بعض تطبيقات الألياف الطبيعية في مجال السيارات. [22]

7.1 مزايا وعيوب المواد المركبة

تُفضل المواد المركبة على المواد الأخرى لأنها توفر مزايا تتعلق بما يلي: [23][24]

- ✓ خفة مع المقاومة للتآكل وكذلك التعب.
- ✓ عدم التحسس لمنتجات مثل الشحوم والسوائل الهيدروليكية والدهانات والمذيبات.
- ✓ إمكانية اتخاذ عدة أشكال لدمج الملحقات والسماح بتقليل الضوضاء، إلا أن بعض العيوب تعيق توزيعها.

لذلك يجب أن تواجه صناعة المواد المركبة تحديات معينة اليوم، مثل:

- التحكم في انبعاثات المنتجات العضوية المتطايرة، مثل الستيرين.
- التحكم في عمليات التحول وأداء المواد التي تعني معرفة جيدة بالمكونات الموجودة.

الفصل الثاني:

السلوك المرن للمواد المركبة

الفصل 2: السلوك المرن للمواد المركبة

المقدمة

ترتبط مجالات الإجهاد والتوتر في الوسط بقوانين تسمى القوانين التأسيسية، والتي تميز السلوك الميكانيكي للوسط. يتم وصف هذه القوانين من خلال البديهيات التي تجعل من الممكن تفسير أفضل للظواهر المرصودة وهذا ما يمثل الفصل الثاني.

1.2 معلومات عامة عن السلوك المرن للمادة:

1.1.2 المرونة الخطية: [26]

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ & & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ & & & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ & & & & C_{55} & C_{56} \\ & & & & & C_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} \quad \text{II.1}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{ii} &= \sigma_{\alpha} & \varepsilon_{ii} &= \varepsilon_{\alpha} & \alpha &= 1 \\ \sigma_{ij} &= \sigma_{\beta} & \varepsilon_{ij} &= \varepsilon_{\beta} & \beta &= 9 - i - j \end{aligned} \quad \text{مع :}$$

أو في صورة مكثفة:

$$\sigma = C\varepsilon \quad \text{II.2}$$

هذا القانون، يسمى بشكل عام قانون هوك المعمم، يقدم مصفوفة الصلابة C، المتماثلة.

يتم وصف السلوك الخطي للمادة في الحالة العامة بواسطة 21 معاملاً مستقلاً. كما يمكن كتابة علاقة المرونة بالصيغة المعكوسة، على النحو التالي:

$$\varepsilon = S\sigma \quad \text{II.3}$$

مع

$$S = C^{-1}$$

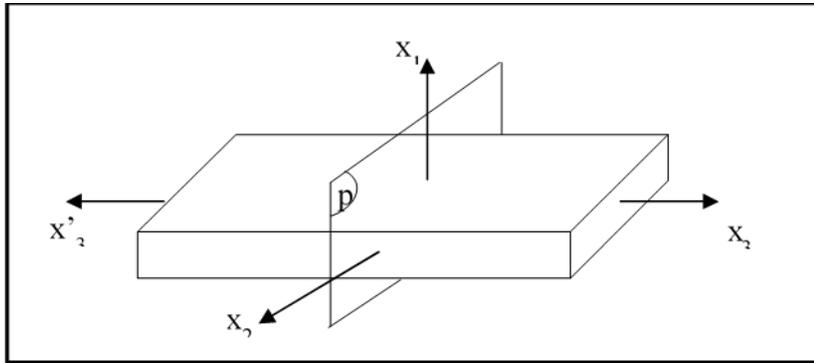
حيث: S : مصفوفة المرونة أو النعومة (متماثلة).

2.1.2 مادة متباينة الخواص

في الحالة الأكثر عمومية، يتم تحديد كل من مصفوفة الصلابة ومصفوفة المرونة بواسطة 21 ثابتاً مستقلاً. تتوافق هذه الحالة مع مادة ليس لها خصائص تناظر أي هو وجود خصائص مختلفة في اتجاهات مختلفة. تسمى مادة ثلاثية الميل أو مادة متباينة الخواص.

3.1.2 مادة أحادية الميل

مادة أحادية الميل هي مادة لها مستوي تناظر واحد.



الشكل 1.2: مستوي التماثل

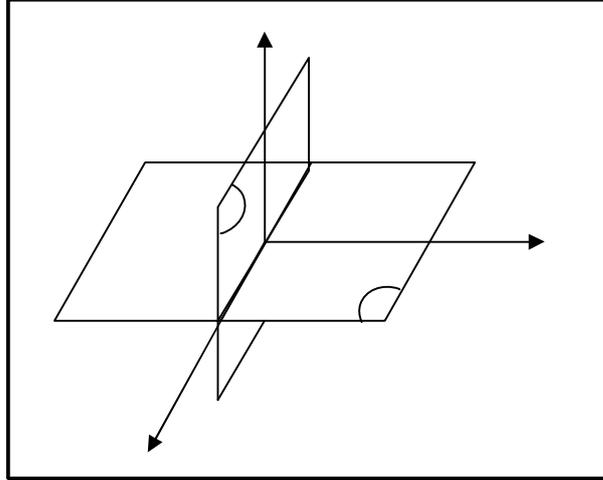
يجب أن يكون شكل مصفوفة الصلابة (أو المرونة) بحيث لا يؤدي تغيير القاعدة الذي يتم إجراؤه بواسطة التناظر مقارنة بهذا المستوي إلى تعديل المصفوفة. في الحالة التي يكون فيها مستوي التناظر هو المستوي (1،2)، يؤدي إحداث التغييرات الأساسية على مصفوفة صلابة الشكل(1):

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & C_{16} \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & C_{26} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & 0 & 0 & C_{36} \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & C_{45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{45} & C_{55} & 0 \\ C_{16} & C_{26} & C_{36} & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \quad \text{II.4}$$

مصفوفة المرونة لها نفس الشكل. يتم تقليل عدد ثوابت المرونة المستقلة إلى 13.

4.1.2 المادة ثنائية الميل

تحتوي مادة ثنائية الميل على ثلاث مستويات من التناظر، عمودية في أزواج. وتجدر الإشارة إلى أن وجود مستويين متعامدين من التناظر يعني وجود المستوى الثالث.



الشكل 2.2: مواد ثنائية الميل

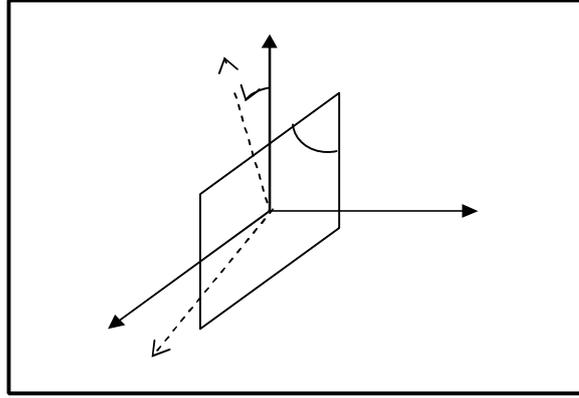
يتم الحصول على شكل مصفوفة الصلابة عن طريق إضافة مستوى تناظر عمودي على المستوى السابق إلى المادة أحادية الميل. يؤدي ثبات المصفوفة في التغيير الأساسي الذي يتم إجراؤه عن طريق التناظر فيما يتعلق بهذا المستوى الثاني إلى مصفوفة صلابة بالشكل:

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \quad \text{II.5}$$

مصفوفة المرونة لها نفس الشكل. يتم تقليل عدد ثوابت المرونة المستقلة إلى 9.

5.1.2 مادة متعامدة مع الخواص المستعرضة

إن المادة تتصرف مثل مادة ثنائية الأبعاد زيادة على هذا لها محور دوران. ينتج عنه أن تغيير القاعدة الذي يتم إجراؤه بواسطة دوران غير محدد حول هذا المحور بترك مصفوفة الصلابة (أو المرونة) دون تغيير.



الشكل 3.2: سطح الخواص

لذلك تتم كتابة مصفوفة الصلابة على النحو التالي:

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{23} & C_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{C_{22} - C_{23}}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix}$$

II.6

مصفوفة المرونة لها نفس الشكل.

يتم تحديد خصائص المواد المتناحرة للخواص المستعرضة بواسطة 5 ثوابت مرونة مستقلة.

6.1.2 المادة المتجانسة:

تكون المادة الخواص إذا كانت خصائصها مستقلة عن اختيار المحاور المرجعية. لا يوجد اتجاه مميز، ويجب أن تكون مصفوفة الصلابة (أو المرونة) ثابتة في أي تغيير للقواعد المتعامدة.

لذلك يتم تقليل عدد ثوابت المرونة المستقلة إلى 2، ويؤدي إلى مصفوفة الصلابة [25] :

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{11} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{12} & C_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(C_{11} - C_{12}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(C_{11} - C_{12}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(C_{11} - C_{12}) \end{bmatrix} \quad \text{II.7}$$

مصفوفة المرونة لها نفس الشكل.

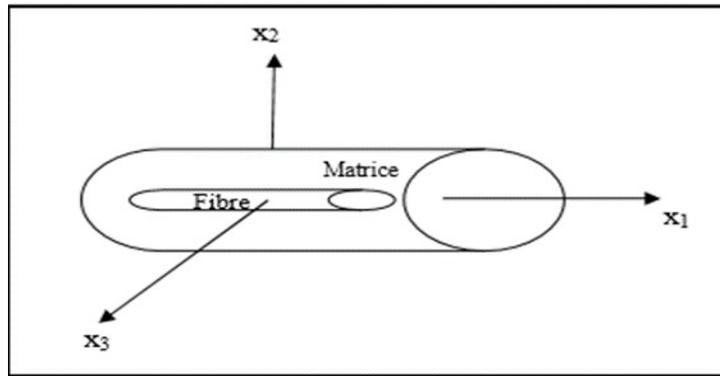
بشكل عام، يتم التعبير عن ثوابت الصلابة عن طريق إدخال معاملات لامى λ و μ

$$\begin{cases} C_{11} = \lambda + 2\mu \\ C_{12} = \lambda \end{cases} \quad \text{II.8}$$

2.2 السلوك المرن للمواد المركبة

1.2.2 السلوك المرن لمادة مركبة أحادية الاتجاه [8]

يمكن اعتبار أن الخلية الأولية لمركب أحادي الاتجاه تتكون من ألياف محاطة بأسطوانة من المصفوفة 04 وبالتالي فإن المادة تتصرف مثل مادة ثنائية الميل زائد محور دوران.



الشكل 4.2: مركب أحادي الاتجاه

3.2 السلوك المرن للمواد المركبة الصفائحية

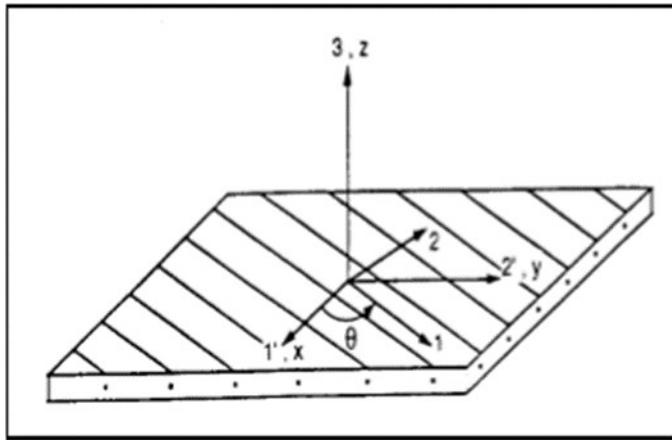
تتكون المواد المركبة الصفائحية من طبقات متعددة من مواد مركبة أحادية الاتجاه أو مركبات قائمة على القماش أو الحصائر. تحتوي هذه الطبقات على ثلاث مستويات متعامدة فيما بينها مثني مثني، وتتصرف من وجهة نظر مرنة مثل مادة تقويمية.

1.3.2 السلوك المرن لطبقة صفائحية خارج المحاور [8] [25]

السلوك المرن لمادة أو نسيج مركب أحادي الاتجاه، معبراً عنه في الاتجاهات الرئيسية التي تم الكشف عنها سابقاً:

المحاور تتبع اتجاه الألياف، ويكون المحوران الأخران متعامدين. ومع ذلك، فقد رأينا أن الصفائح تم إنتاجها في طبقات فوق بعضها البعض، حيث يتم إزاحة اتجاه الألياف من طبقة إلى أخرى. لدراسة السلوك المرن لهذه الصفائح، من الضروري أخذ نظام من المحاور المرجعية للصفائح بأكملها، وربط السلوك المرن لكل طبقة بهذا النظام المرجعي.

فيما يلي، نعتبر أن الشكل 5 عبارة عن طبقة من مادة مركبة أحادية الاتجاه خاضع للاتجاهات الرئيسية (1،2،3)، والمستوي (1،2) يتطابق مع مستوي الطبقة، والاتجاه 1 متطابق مع اتجاه الألياف الطبقة. الهدف هو توصيف الخصائص المرنة للطبقة، من خلال التعبير عنها في نظام المحاور المرجعية (1'، 2'، 3) للصفائح، أو اتجاه الألياف التي تصنع زاوية θ مع الاتجاه 1'. عادة ما يشار إلى نظام المحور هذا بالنظام (z، y، x).



الشكل 5.2: المحاور الرئيسية (1،2،3) لطبقة من المحاور الرقائعية والمرجعية

$$(1', 2', 3) = (z, y, x) \text{ من صفيحة}$$

هو:

$$\sigma = C\varepsilon \text{ في القاعدة} \quad \text{II.9}$$

$$\sigma' = C'\varepsilon' \text{ في القاعدة} \quad \text{II.10}$$

يمكن كتابة علاقات التغير الأساسية المتعلقة بالإجهاد والتشوهات بطريقة عامة في الأشكال:

$$\begin{cases} \sigma' = T\sigma \\ \varepsilon' = T\varepsilon \end{cases} \quad \text{II.11}$$

و من خلال الجمع بين العلاقات II.9 و II.11، نجد:

$$\sigma' = T C T^{-1} \varepsilon' \quad \text{II.12}$$

حيث T هي مصفوفة التغير الأساس (6×6) .

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & 0 & 0 & 0 & 2 \sin \theta \cos \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & 0 & 0 & 0 & -2 \sin \theta \cos \theta \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ -2 \sin \theta \cos \theta & 2 \sin \theta \cos \theta & 0 & 0 & 0 & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{bmatrix} \quad \text{II.13}$$

يُعطى السلوك المرن للطبقة، المرتبط بمحاورها الرئيسية بالعلاقة 9، تم الحصول على مصفوفات الصلابة (C') والمرونة (S')، المعبر عنها في القاعدة (1، 2، 3) من خلال تطبيق مصفوفات الصلابة والمرونة، المشار إليها في القاعدة (1، 2، 3)، أساس تغيير العلاقات. تتيح هذه العلاقات تحديد مصفوفة الصلابة (C') و مصفوفة المرونة (S') المعبر عنها في القاعدة (1، 2، 3).

علاقة تغيير قاعدة مصفوفات الصلابة:

$$C' = T C T^{-1} \quad \text{II.14}$$

في شكل مصفوفة:

$$\begin{bmatrix} C'_{11} & C'_{12} & C'_{13} & 0 & 0 & C'_{16} \\ C'_{12} & C'_{22} & C'_{23} & 0 & 0 & C'_{26} \\ C'_{13} & C'_{23} & C'_{33} & 0 & 0 & C'_{36} \\ 0 & 0 & 0 & C'_{44} & C'_{45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C'_{45} & C'_{55} & 0 \\ C'_{16} & C'_{26} & C'_{36} & 0 & 0 & C'_{66} \end{bmatrix} \quad \text{II.15}$$

وبسبب مماثل، نجد أيضا العلاقة للتغيير الأساسي لمصفوفات الصلابة:

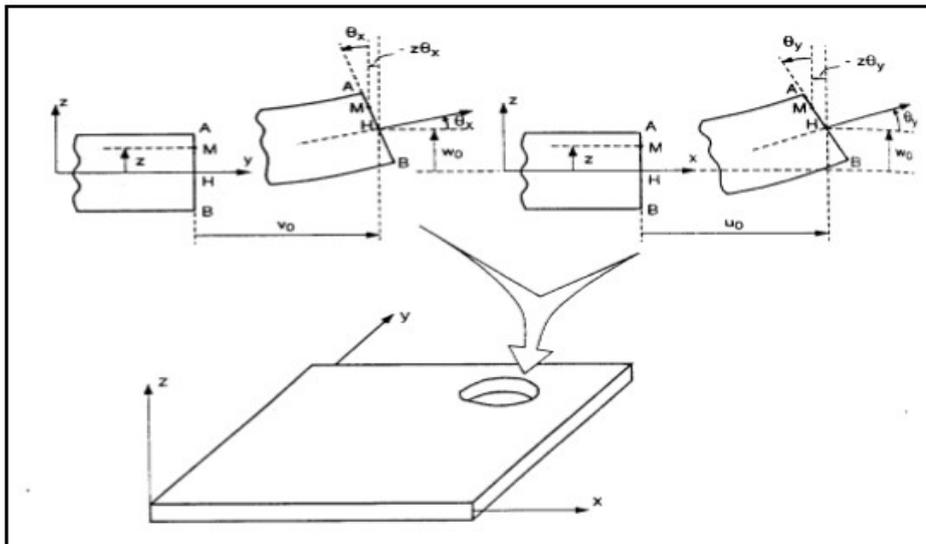
$$S' = T S T^{-1} \quad \text{II.16}$$

يتم تحديد خصائص المادة المركبة خارج محاورها الرئيسية بواسطة 13 ثابتاً مرناً مستقلاً.

4.2 السلوك المرن للمركب الصفائحي [25]

في نظرية الصفائح، تعتبر مجموعة الطبقات المكونة من الألياف والمصفوفة مادة متجانسة ومتباينة الخواص. لذلك، مبادئ نظرية المرونة وثني الألواح قابلة للتطبيق. في عملنا الحالي، ينحصر استخدام نظرية اللامينات في تحديد الخواص الميكانيكية للصفحة.

1.4.2 نظرية التصفيح الكلاسيكية



الشكل 6.2: التشوهات في حالة النظرية الكلاسيكية للرقائق

تبقى الجسيمات التي عينت على المحور الناظمي لطبقة الوسطى قبل التشوه تتبع المحور الناظمي للصفائح الوسطى بعد التشوه.

- يكتب حقل الانتقال:

$$\begin{aligned} u(x, y, z) &= u_0(x, y) - z\theta_y \\ v(x, y, z) &= v_0(x, y) - z\theta_x \quad \text{مع: } \theta_x = \frac{\partial w_0}{\partial y}, \theta_y = \frac{\partial w_0}{\partial x} \\ w(x, y, z) &= w_0(x, y) \end{aligned} \quad \text{II.17}$$

يكتب حقل التشوهات:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= \frac{\partial u_0}{\partial x} - z \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} \\ \varepsilon_{yy} &= \frac{\partial v_0}{\partial y} - z \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} \\ \varepsilon_{xy} &= \left(\frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x} \right) - 2z \frac{\partial^2 w_0}{\partial x \partial y} \\ \varepsilon_{zz} &= \varepsilon_{xz} = \varepsilon_{yz} = 0 \end{aligned} \quad \text{II.18}$$

أخيراً، يتم كتابة حقل التشوهات:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx}^0 \\ \varepsilon_{yy}^0 \\ \varepsilon_{xy}^0 \end{bmatrix} + z \begin{bmatrix} k_x \\ k_y \\ k_{xy} \end{bmatrix} \quad \text{II.19}$$

أو بشكل مختصر:

$$\varepsilon(M) = \varepsilon(x, y, z) = \varepsilon_m(x, y) + z k(x, y) \quad \text{II.20}$$

• $\varepsilon_m(x,y)$ تشوه الغشاء

• $k(x,y)$ الانحناء والتواء التشوه

يكتب حقل التشوهات:

$$\sigma(M) = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & 0 \\ \sigma_{xy} & \sigma_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{II.21}$$

يتم التعبير عن الضغوط في الطبقة k على النحو التالي:

$$\sigma_k(M) = \sigma_k(x, y, z) = Q'_k \varepsilon_m(x, y) + z Q'_k K(x, y) \quad \text{II.22}$$

Q' مصفوفة الصلابة المخفضة للطبقة k (3×3)

- النواتج التي في الغشاء في إطار النظرية الكلاسيكية للصفائح مكتوبة:

$$N(x, y) = \sum_{k=1}^n \int_{h_{k-1}}^{h_k} [Q'_k \varepsilon_m(x, y) + z Q'_k k(x, y)] dz \quad \text{II.23}$$

أو أخيراً بالشكل:

$$N(x, y) = A \varepsilon_m(x, y) + B k(x, y)$$

$$\text{مع : } A = [A_{ij}] = \sum_{k=1}^n (h_k - h_{k-1}) (Q'_{ij})_k \quad \text{II.24}$$

$$B = [B_{ij}] = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (h_k^2 - h_{k-1}^2) (Q'_{ij})_k$$

N : الاجهادات في الغشاء

A : مصفوفة غشاء الصلابة.

B : مصفوفة اقتران الغشاء-الانحناء-التواء.

- مجال عزم الانحناء والالتواء بالشكل التالي:

$$M_f(x, y) = \sum_{k=1}^n \int_{h_{k-1}}^{h_k} [z Q'_k \varepsilon_m(x, y) + z^2 Q'_k k(x, y)] dz \quad \text{II.25}$$

حيث

$$M_f(x, y) = B \varepsilon_m(x, y) + D k(x, y)$$

$$\text{مع : } D = [D_{ij}] = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n (h_k^3 - h_{k-1}^3) (Q'_{ij})_k \quad \text{II.26}$$

M_f : عزم الانحناء و الالتواء

D : مصفوفة الصلابة في الانحناء

2.4.2 معادلة سلوك المركب الصفائحي

المعادلة التأسيسية للصفحة الرقائقية تعبر عن الإجهادات والعزوم وفقا للتشوهات في الغشاء والانحناءات يتم الحصول عليها من خلال تجميع التعبيرات بعد كتابة المصفوفة (II.24) والمصفوفة (II.26) في مصفوفة واحدة:

$$\begin{bmatrix} N \\ M_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ B & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_M \\ k \end{bmatrix} \quad \text{II.27}$$

يمكن أيضا التعبير عن مصطلحات المصفوفات A, B, D وفقا للسمك e_k وابعاد مركز الطبقة k بالشكل:

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n (Q'_{ij})_k e_k$$

$$B_{ij} = \sum_{k=1}^n (Q'_{ij})_k e_k z_k \quad \text{مع} \quad \begin{aligned} e_k &= h_k - h_{k-1} \\ z_k &= \frac{(h_k + h_{k-1})}{2} \end{aligned} \quad \text{II.28}$$

$$D_{ij} = \sum_{k=1}^n (Q'_{ij})_k \left(e_k z_k^2 + \frac{e_k^3}{12} \right)$$

Q'_{ij} : مصفوفة الصلابة المخفضة للطبقة k.

تحويلات الصلابة المنخفضة Q هي:

$$\begin{aligned}
 Q'_{11} &= Q_{11} \cos^4 \theta + 2(Q_{12} + 2Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{22} \sin^4 \theta, \\
 Q'_{22} &= Q_{11} \sin^4 \theta + 2(Q_{12} + 2Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{22} \cos^4 \theta, \\
 Q'_{12} &= (Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{12} (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta), \\
 Q'_{66} &= (Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12} - 2Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{66} (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta), \\
 Q'_{16} &= (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66}) \sin \theta \cos^3 \theta + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66}) \sin^3 \theta \cos \theta, \\
 Q'_{26} &= (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66}) \sin^3 \theta \cos \theta + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66}) \sin \theta \cos^3 \theta.
 \end{aligned}
 \tag{II.29}$$

Q'_{ij} : كونها معاملات مرنة لمصفوفة الصلابة مخفضة في إجهاد المستوى المحدد بواسطة:

$$\begin{aligned}
 Q_{11} &= \frac{E_L}{1 - \frac{E_T}{E_L} \nu_{LT}^2} \\
 Q_{22} &= \frac{E_T}{E_L} Q_{11} \\
 Q_{12} &= \nu_{LT} Q_{22} \\
 Q_{66} &= G_{LT}
 \end{aligned}
 \tag{II.30}$$

الفصل الثالث:

تحضير المادة المركبة المستعملة
وتوصيفها

الفصل 3: تحضير المادة المركبة المستعملة وتوصيفها

مقدمة

شغلت المركبات المعززة بالألياف العضوية اهتماما متزايدا نظرا لتكلفتها وكثافتها المنخفضة، وقابليتها لتحلل البيولوجي، وتوفرها بكثرة وسهولة معالجتها ومعاملها النوعي العالي والقدرة على إعادة التدوير.

إذا كان هنالك عدة ألياف عضوية مثل القنب والكتان والجوت لقد اثبتوا اهتمامهم في مختلف المجالات الصناعية، وفي الآونة الأخيرة بدأت ألياف النخيل التمر جذب انتباه الباحثين.

يقدم هذا الفصل تحضير وتوصيف الميكانيكي لمركب يعتمد على ألياف ليف نخيل تمر من نوع الغرس لمنطقة أولاد جلال.

1.3 المواد الأولية المستعملة في الدراسة

1.1.3 راتنج الإيبوكسي

في دراستنا قمنا باستخدام راتنج إيبوكسي من نوع (MEDAPOXY STR) الذي تحصلنا عليه من شركة قرانيتكس (الجزائر) والمخصص لصناعة الدهانات ومعالج التشققات الجدران خاصة عند حدوث الزلازل.

(MEDAPOXY STR) يأتي على شكل مكونين:

- المكون الأول: الراتنج (resin) لونه شفاف وتأخذ منه قيمة 1 kg.
- المكون الثاني: المصلب (hardness) لونه بني داكن وتأخذ منه قيمة 0.666 kg.

2.1.3 خصائص الراتنج إيبوكسي (resin)

- الكثافة (ISO758)..... $1,1 \pm 0,05$.
- اللزوجة (NF T76-102)..... 11000 Mpa.S في 25°C .
- وقت المعالجة عند 20°C و 65% HR.
- لون قسطني بعد مزج المكونين.

3.1.3 الألياف المستعملة

اعتمدنا في هذه الدراسة على الياف نخيل التمر التي تشكل النسيج المحيطي بالجذع النخلة. تم الحصول على هذه الألياف، التي تسمى الليف، من نخيل التمر لولاية اولاد جلال. حيث استخلصنا الليف ذو نسيج بني بين السويقة وجذع نخيل التمر.



ب: نخيل التمر

أ: الليف الخام

الشكل 1.3: موقع ليف نخيل التمر.

4.1.3 خصائص اليف الليف

الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية لالياف ليف نخيل التمر نوع نخيل الغرس مذكورة في الجدول التالي: [27]

الجدول 1.3: يوضح خواص ميكانيكية الالياف ليف نخيل الغرس. [27]

معامل المرونة	الكتلة الحجمية	التشوه ϵ_r (%)	الإجهاد σ_r (MPa)	النوع
E (Gpa)	ρ (g/cm ³)			
4,16 - 4,30	0.47	1,62 - 7,95	38,02 - 89,35	نخيل الغرس

5.1.3 تحضير حصائر التقوية:

تم الحصول على الألياف النباتية (العضوية) المختارة في هذه الدراسة من ألياف ليف نخيل التمر المتوفرة بكثرة في أولاد جلال. حيث استخلصنا مجموعة كبيرة من الألياف من نخيل تمر الغرس.

بعدها قمنا بتنظيف الألياف جيدا من الغبار والشوائب و تصفيتها بنزع الألياف السميكة والإبقاء على الألياف الرفيعة وبعد ذلك قمنا بغسلها جيدا بالماء مع تركها ليوم كامل للتجفيف. كما يوضح (الشكل 2.3) الألياف في حالتها الابتدائية (الشكل 3.3) في حالة تالية بعد تصفيتها و(شكل 4.3) في حالة النهائية بعد غسلها بماء وتجفيف.



الشكل 2.3: الليف في حالة ابتدائية.



الشكل 3.3: الليف المختارة بعد التصفية.



الشكل 4.3: ليف مرحلة نهائية بعد غسل وتجفيف.

بعد ذلك قمنا بتشكيل ليف على شكل حصائر وذلك بوضعه في آلة ضاغطة الموجودة في البهو التكنولوجي في جامعة بسكرة. كما موضحة في (شكل 5.3).



شكل 5.3: شكل الليف قبل وضعه في آلة الضغط.



الشكل 6.3: الآلة الضاغطة.

وبعد وضع الألياف في آلة الضغط عند الضغط 20 بسكال ودرجة حرارة 100 درجة مئوية وفي زمن مقدر ب 10 دقائق حتى ربع ساعة. نحصل في الأخير على صفيحة من ليف على شكل حصيرة (mat). كما موضحة في (شكل 7.3).



الشكل 7.3 : ليف على شكل حصيرة بعد ضغط.

6.1.3 خصائص حصيرة ليف المستعملة في دراستنا

- وزن الحصيرة 0.034 غرام على 1 cm^2 .
- أبعادها: طول 18 cm والعرض 18 cm.
- سمك الحصيرة 0.85 mm.

2.3 تشكيل المادة المركبة الصفائحية

من أجل تحضير المادة المركبة قمنا بالعديد من الخطوات تتمثل فيما يلي:

- تحضير السطح المراد العمل فيه حيث وضعنا غلاف بلاستيكي ووضعنا مادة الفازلين فوقه لتجنب التصاق الراتنج ونزع المادة المركبة بسهولة بعد التصلب.
- وباستعمال القولبة بتلامس نقوم بوضع طبقة من راتنج على السطح العمل ونضع فوقه حصيرة ليف ونقوم بتكرير العملية ثلاث مرات متتالية حتى نحصل في الأخير على الشكل النهائي الموضح في (الشكل 10.3).



الشكل 8.3: قولبة بالتلامس.



الشكل 9.3: المادة المركبة من ثلاث صفائح.

ونتركها تجف لمدة 24 ساعة لنحصل على الشكل موضح في الشكل (10.3).

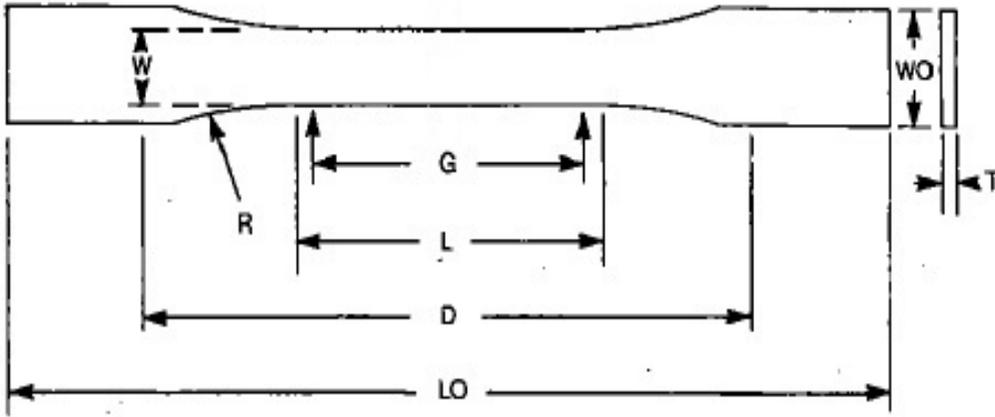


الشكل 10.3: شكل نهائي للمصوفة بعد تجفيف.

3.3 إعداد العينات

يتم استخدام نوع واحد من العينات الخاصة باختبار الشد في سياق هذه الدراسة. بالنسبة لاختبار المادة المركبة

ليف- إيبوكسي او الراتنج الغير مقوى. وفقا للمواصفة. ASTM D638-02a



$$L_0=165\pm 6.5\text{mm} \quad D=115\pm 4.5\text{mm} \quad L=57\pm 2.25\text{mm} \quad G=50\pm 2\text{mm}$$

$$R=76^\circ\pm 3^\circ \quad W=13\pm 0.5\text{mm} \quad W_0=19\pm 0.75\text{mm} \quad T=3.2\pm 0.4\text{mm}$$

الشكل 11.3: هندسة عينة الشد ليف إيبوكسي.

لتجنب مشاكل القطع الميكانيكي استخدمنا في عملنا آلة القطع الليزر CO_2 من نوع GY-9060 E بسرعة قطع 10 ملم في دقيقة. (الشكل 12.3) القطع بليزر هو عملية قطع حراري للألواح والأجسام المصنوعة من مجموعة متنوعة من المواد، بدقة حادة وسريعة. تتم عملية القطع بالليزر بدون قوة أو ملامسة، الإجهاد الحراري الوحيد ناتج عن طاقة الليزر. بشكل عام، فإن حواف القطع نظيفة و متناهيّة الدقة.



الشكل 12.3: آلة القطع بالليزر من نوع GY-9060 E.

(الشكل 13.3) يظهر بعض عينات الشد ليف- إيبوكسي، حيث تم القطع بواسطة آلة القطع بالليزر.



ب: عينات المصفوفة ليف- راتنج.

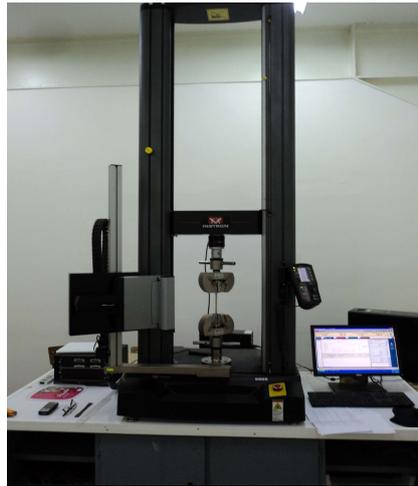


أ: عينات راتنج لوحده.

الشكل 13.3: عينات اختبار الشد.

4.3 اختبار الشد

يتم إجراء اختبارات الشد باستخدام آلة الشد العالمية INSTRON 5969 بسعة 5 كيلو نيوتن، تقدم سرعة ثابتة للحركة لنقاط التحميل. و بعد عدة محاولات، اعتمدنا سرعة 2ملم في الدقيقة. تتكون هذه الآلة من عارضة سفلية ثابتة و عارضة علوية متحركة. ترتبط آلة الاختبار التي يتم التحكم فيها بواسطة كومبيوتر وبالوصول على بيانات بواسطة برنامج 3 bluehill الذي يسمح بتخزين البيانات ومعالجتها. تم اختبار 5 عينات على أقل.



الشكل 14.3: آلة الشد من نوع إنسترون نموذج 5969.

5.3 النتائج والمناقشة

أعطت اختبارات الشد التي أجريت على العينات كسرا على الأغلب في منتصف العينة.



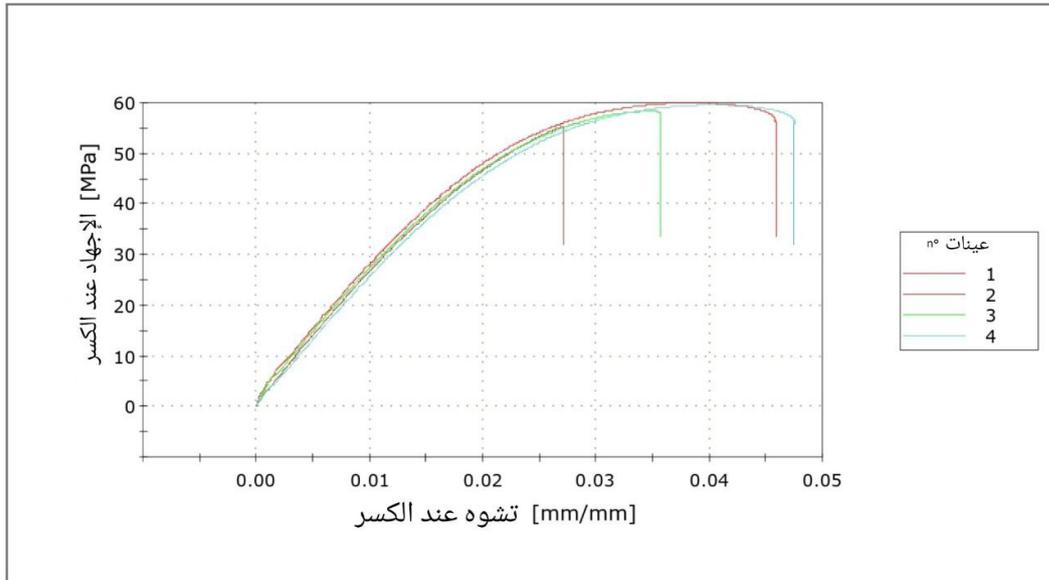
ب: عينات مصفوفة ليف – راتينج بعد التمزق



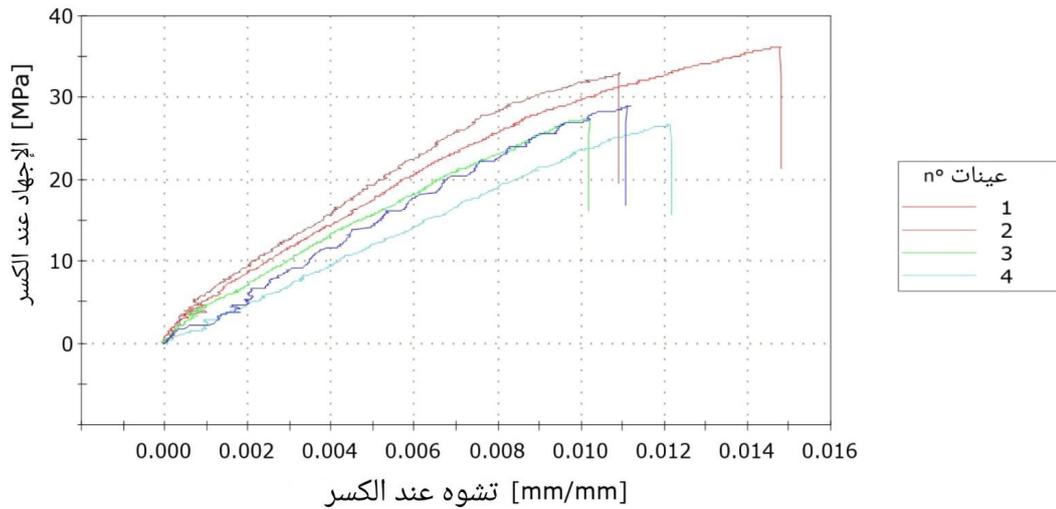
أ: عينات راتينج بعد التمزق

الشكل 15.3: عينات شد بعد التمزق.

جعلت إختبارات الشد من الممكن رسم منحنيات الإجهاد والتشوه الموضحة في الشكل أدناه. يتم عرض نتائج الشد لعينات الراتنج فقط وللمادة المركبة ليف- راتنج. كما في (الشكل 16.3 - 17.3).



الشكل 16.3: نتائج إختبار الشد الراتنج.



الشكل 17.3: نتائج اختبار الشد ليف-راتنج.

يظهر (الشكل 15.3) اختبار الشد لمادة راتنج الغير مقواة بالألياف، نلاحظ أن المنحنيات 4 التي تحصلنا عليها لها نفس القراءة. ومقسمة إلى مرحلتين:

- المرحلة الأولى من القيمة 0 إلى 20 ميكا بسكال، وهي مرحلة المرونة حيث نحسب فيها معامل المرونة E. المعطى بالعلاقة التالية:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

- المرحلة الثانية من القيمة 20 إلى 55 ميكا بسكال تقريبا، وهي المرحلة البلاستيكية الغير خطية. حيث في القيمة 55 ميكا بسكال تحدث عملية الكسر للعينات.

ويظهر (الشكل 16.3) للمركب الصفائحي (حصائر ليف-إيبوكسي) بعد اختبار الشد، نلاحظ كذلك أن المنحنيات 4 لها نفس القراءة ومقسمة إلى مرحلتين:

- المرحلة الأولى من 0 إلى 15 ميكا بسكال تقريبا لأغلب المنحنيات، وهي مرحلة المرونة حيث نحسب فيها معامل المرونة E، يحسب نفس الطريقة السابقة.

- المرحلة الثانية من القيمة 15 ميكا بسكال إلى نقطة الكسر، وهي المرحلة البلاستيكية الغير خطية، حيث لاحظنا اختلافات طفيفة في قيم الإجهاد والتشوه، حيث القيمة بين 25 و 35 ميكا بسكال تحدث عملية الكسر للعينات.

تلخص الجداول التالية (2.3) و(3.3) نتائج اختبار الشد، للعينة راتنج لوحده وعينة ليف - راتنج.

الجدول 2.3: نتائج إختبار الشد راتنج.

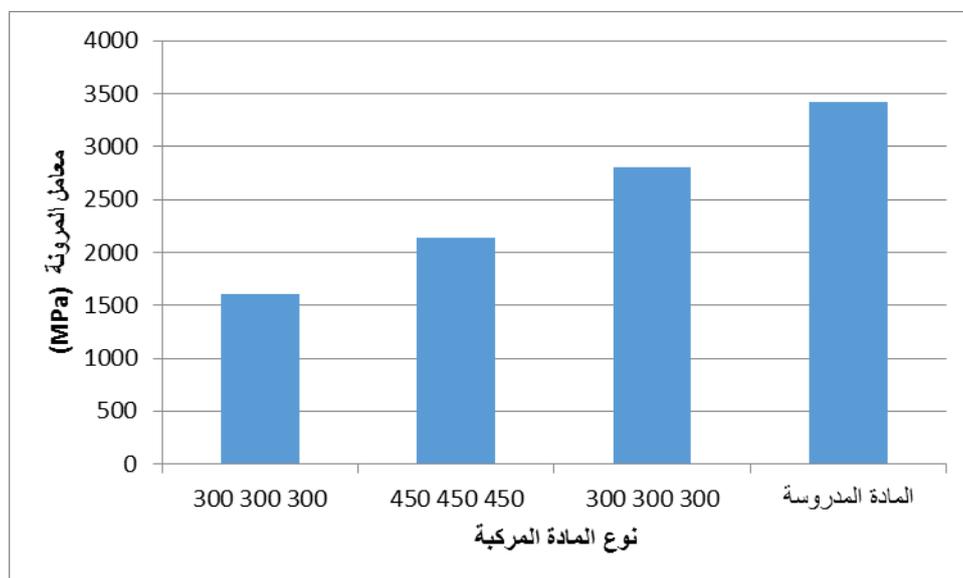
معامل المرونة E [MPa]	المساحة المقاطع [mm ²]	الإجهاد عند الكسر σ_r [MPa]	التشوه عند الكسر ϵ_r [mm/mm]	العينات
2 727,18848	42,57	56,17289	0,04588	1
2 732,14081	49,40	55,34724	0,02709	2
2 700,19909	43,87	58,14536	0,03566	3
2 557,48402	46,15	55,81316	0,04752	4
82,38397	2 ,99	1,23110	0,00954	قيمة الخطأ
2 679,25310	45,49	56,36966	0,02709	القيمة المتوسطة

الجدول 3.3: نتائج إختبار الشد ليف- راتنج

معامل المرونة E [MPa]	المساحة المقاطع [mm ²]	الإجهاد عند الكسر σ_r [MPa]	تشوه الكسر ϵ_r [mm/mm]	العينات
3 574,73738	39,65	36,04945	0,01479	1
4 481,61865	44,52	32,94794	0,01089	2
3 423,00062	69 ,22	27,35906	0,01021	3
2 429,86643	62,81	26,64765	0,01212	4
3 196,47227	63,18	29,02683	0,01112	5
738,46284	12,96	3,98814	0,00179	قيمة الخطأ
3 421,13907	55,88	30,40619	0,01183	القيمة المتوسطة

من النتائج الأولية التي تحصلنا عليها في هذه الدراسة أن تعزيز المادة المركبة بحصائر من ألياف نخيل التمر، تعدل بطريقة ملحوظة السلوك الميكانيكي للمركب مقارنة براتنج البوليمر وحده.

و لرفع من قيمة هذا العمل و النتائج المحصل عليها قمنا بقرارة نتائج دراستنا بنتائج أبحاث مرجعية [4] عن مواد ذو طبيعة غير حيوية وهي مواد مركبة صفائحية مشكلة من مادة البوليسثير مقوى بثلاثة حصائر من ألياف زجاجية ذات النوع 300 و 450.



الشكل 18.3: مقارنة المادة المدروسة بمادة مركبة مقواة بألياف زجاجية

نلاحظ من المخطط البياني الموضح في الشكل التالي ان معامل المرونة للمادة المركبة المدروسة في هذا العمل (راتنج الايبوكسي مقوى بحصار من ألياف ليف نخيل التمر الغرس) أحسن من معامل المرونة لمادة مركبة مقواة من حصائر ألياف زجاجية. و في الأخير نستخلص من هذه الدراسة ان النتائج المتحصل مقبولة و نستطيع أن نعتد عليها في بعض المجالات و القطاعات.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة

ازداد استخدام الألياف الطبيعية في العديد من المجالات ، لا سيما في مجال البناء والطب ، مما أدى إلى مساحة مفتوحة للمواد المركبة ذات المصادر الحيوية نظرًا لخصائصها الاقتصادية والبيئية التي تمثل متطلبات العصر الجديد.

يتم استخدام المواد المركبة بشكل متزايد مع الألياف النباتية في العصر الحالي حيث اخذ اهتمام الكثير من الباحثين داخل و خارج الوطن. و هذا راجع الى كثافتها و تكلفتها المنخفضة، وكذلك بفضل مزاياها المتعددة.

في هذا العمل التجريبي، قمنا بتشكيل و توصيف مادة مركبة صفائحية ذات مصدر حيوية مكونة من مادة الايبوكسي مقواة باللياف ليف نخيل التمر. حيث سمحت لنا هذه الدراسة بتحديد النقاط التالية:

اولا قمنا بتخصيص بحث ببيولوجرافي الذي تم إجراؤه في بداية هذه المذكرة حول عموميات على مواد المركبة العضوية وكذا السلوك الميكانيكي للمواد المركبة الصفائحية.

ثانيا الجانب التطبيقي الذي مر بالمراحل التالية:

تحضير الياف ليف النخيل التمر غسلها و تجفيفها ثم جمعها و تشكيلها على شكل حصائر. بعدها تحضير مادة الراتنج المستعملة في هذه الدراسة.

تشكيل المادة المركبة بطريقة التلامس و المكونة من ثلاثة طبقات من حصائر الياف ليف نخيل التمر مغمورة في الراتنج.

تم قطع العينات اختبار الشد بتقنية القطع بالليزر و ذلك لتجنب اضرار القطع.

إجراء اختبار الشد على مجموعة من عينات من (راتنج الغير المقوى) و المادة المركبة (ليف- راتنج) التي تحصلنا عليها، و التي تحصلنا من خلالها على منحنيات الاجهاد بدلالة التشوه.

وفي أخير قمنا بتحليل نتائج الاختبار حيث حددنا من خلالها الخواص الميكانيكية للمادة المدروسة (معامل يونغ، الإجهاد والتشوه عند الكسر) و كذا مقارنتها بنتائج أخرى. وبفضلها استخلصنا أن النتائج المتحصل عليها مقبولة ويمكن الاعتماد عليها في تصنيع مواد ذات أداء منخفض.

قائمة المراجع

المراجع:

- [1] Chahrazad, D., Réalisation d'un nouveau matériau biocomposite à base de fibres naturel.2019, Université Mohamed khider-Biskra
- [2] Madani, G. and G. Mustapha, Étude de l'effet de l'orientation des fibres sur la rupture des bétons polymères (BP). 2019, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA..
- [3] MOKHTARI Achène, modélisation du comportement et de l'endommagement des composites à matrice thermoplastique, Thèse de Doctorat en Génie Mécanique, université mouloud Mammeri Tizi-Ouzou
- [4] DJEBLOUN Youcef étude de la rupture en mode I d'ouverture des matériaux composites.
- [5] https://fr.wikipedia.org/wiki/Mat%C3%A9riau_composite
- [6] A.Blaga, Les plastiques thermodurcissables. The Editors of Modern Plastics Encyclopedia. New York, 1975.
- [7] M.Chatain – Matériaux composites : Présentation générale (AM 5000). Techniques de l'Ingénieur, 2005
- [8] BERIBECHE. A, Analyse par la méthode des éléments finis du délaminage des matériaux composites stratifiés. Thèse de magister, Université de Batna 2002
- [9] DANIEL. D, Les matériaux composites (conception, caractéristiques, méthodes de contrôle). Matériaux et techniques, n° 1-2. Janvier – février 1984.
- [10] Jean-Marie Berthelot. Mécanique des Matériaux et Structures Composites. Institut Supérieur des Matériaux et Mécaniques Avancés. Le Mans. France.
- [11] J. Široky, B. Široka and T. Bechtold; Alkali Treatments of Woven Lyocell Fabrics; University of Innsbruck, Research Institute for Textile Chemistry and Physics ,Austria (2012179-203.
- [12] Andrea STANOULOVIC-DAVIDOVLC, Matériaux biodégradables à base d'amidon expansé renforcé de fibres naturelles - Application à l'emballage alimentaire, Thèse de doctorat, Ecole doctorale de l'Université du Sud Toulon-Var, 2006

- [13] Sofien Bouzouita, « optimisation des interfaces fibre-matrice de composites à renfort naturel », école centrale de Lyon, France, janvier 2013.
- [14] مداح اسية. بوعزيز أمينة. (2019). الدراسة المورفولوجية لنبات الليف وتحضير مواد مركبة ذات الأساس من البولي أستر غير مشبع (Doctoral dissertation, Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila).
- [15] Baali Hafida, « étude de l'effet du traitement chimique des fibres de palmier dattier sur le comportement mécanique du béton polymère », Thèse de Master université de m'sila, juin 2014.
- [16] H. Demir, U. Atikler, D. Balköse, F. Tihminlioglu; The effect of fiber surface Treatments on the tensile and water sorption properties of polypropylene–luffa fiber composites; Composite: applied science and manufacturing, A37 (2006) 447-456.
- [17] Jean-Marie Berthelot. Mécanique des Matériaux et Structures Composites. Institut Supérieur des Matériaux et Mécaniques Avancés. Le Mans. France
- [18] Sreekala, M., et al., Oil palm fibre reinforced phenol formaldehyde composites: influence of fibre surface modifications on the mechanical performance. Applied Composite Materials, 2000. 7(5-6): p. 295-329.
- [19] Suhaily, S.S., et al., Bamboo based biocomposites material, design and applications, in Materials Science-Advanced Topics2013, IntechOpen.
- [20] Van Rijswijk, K., W. Brouwer, and A. Beukers, Application of natural fibre composites in the development of rural societies. Delft: Delft University of Technology, 2001.
- [21] Farsi, M., Thermoplastic matrix reinforced with natural fibers: a study on interfacial behavior, in Some critical issues for injection molding2012, IntechOpen.
- [22] Teles, M.C.A., et al., Evaluation of the diameter influence on the tensile strength of pineapple leaf fibers (PALF) by Weibull method. Materials Research, 2015. 18: p. 185-192.
- [23] Vannucci, P., Matériaux composites structuraux, 2007, Université de Versailles et Saint-Quentin-en-Yvelines.
- [24] Ly, E.H.B., Nouveaux matériaux composites thermoformables à base de fibres de cellulose, 2008, Grenoble INPG.

[25] J.L. BERTHELOT, Matériaux composites (comportement mécanique et analyse de structure), Paris 1999.

[26] LAROZE. S, JEAN-JACQUES. B, Mécanique des structures (Calcul des structures en matériaux composites), Tome 4, 1987

[27] DJEBLOUN, Youcef. *Contribution à la caractérisation des matériaux composites renforcés de fibres végétales*. Diss. UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA, 2018.

المخلص

الهدف الأساسي لعملنا هذا هو تطوير وتوصيف مادة مركبة صفائحية عضوية مقواة بحصائر من ألياف ليف نخيل التمر نوع (الغرس).

الخليط المستعمل في دراستنا هو عبارة عن مزيج متحصل من خلط الراتنج من نوع ايبوكسي وألياف ليف النخيل التمر. طريقة التصنيع التي اعتمدنا عليها هي القولية بالتلامس على مستوى المخبر الجامعة.

دراسة بعض الخصائص الميكانيكية عند إجراء اختبار الشد التي من خلالها استنتجنا ان المادة المركبة المستعملة في دراسة مقبولة.

الكلمات المفتاحية: المواد المركبة العضوية، الألياف النباتية، الخصائص الميكانيكية.

Abstract

The main objective of our work is to develop and characterize an organic lamellar composite material reinforced with mats of date palm tree fibres (planting)

The mixture used in our study is a mixture obtained from mixing epoxy resin and fibres the Lif of date palm tree fibers. The manufacturing method that we relied on is contact molding at the level of the university laboratory.

And studying some mechanical properties when conducting a tensile test through which we concluded that the composite material used in the study is acceptable.

Key words: organic compounds, vegetable fiber, mechanical properties