

جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم التكنولوجية
قسم الهندسة الميكانيكية



مذكرة ماستر

الهندسة الميكانيكية
إنشاءات ميكانيكية
رقم:

إعداد الطالب:
محمد حمادي

تطوير ودراسة مادة مركبة حيوية مقواة بألياف طويلة من نخيل التمر

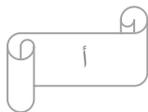
لجنة المناقشة:

مقرر	جامعة بسكرة	أستاذ محاضر. ب	يوسف جبلون
رئيس	جامعة بسكرة	أستاذ محاضر. ا	طارق جودي
مناقش	جامعة بسكرة	أستاذ محاضر. ب	نور الدين درياس

السنة الجامعية: 2021- 2022

شكر:

الحمد والشكر لله والصلاة والسلام على رسول الله
أتقدم بخالص الشكر والتقدير والعرفان:
لأمي وابي اللذان وقفا معي كل خطوة خطوتها
لإنجاز هذا العمل لهما الفضل بعد الله
ولأخي عبد الوهاب الذي كان خير عون في
أصعب الأوقات
اشكر الأستاذ جبلون يوسف على كل توجيهاته
ونصائحه من اجل اتمام هذا المشروع
الى اللجنة التي ستناقش مذكرتي وتبهرني بمعرفة
اخطائي



الاهداء:

الى من ضحى من اجل بلوغي هذا المستوى الى من نفسه

واعطاني ابي الغالي

الى من منحني القوة وشجعتني وكانت سبا في نجاحي الى

من لم تبخل على بتوجيهها ونصائحها

امي الحبيبة

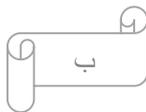
الى جميع الذين لم يقصروا في مساعدتي على راسهم

استاذي العزيز يوسف جبلون

كذلك اهدي هذا العمل الى جباري عبد الكريم ومحمد

عشاش واسماعيل رحمون بالإضافة تومي عياش وطواي

صلاح الدين



الفهرس

ا.....	شكر
ب.....	الاهداء
ت.....	الفهرس
ح.....	قائمة الاشكال
د.....	قائمة الجداول
1.....	المقدمة العامة
2.....	الفصل 1: عموميات حول المادة المركبة الحيوية
2.....	المقدمة
2.....	1.1. المادة المركبة الحيوية
2.....	2.1. مكونات المادة المركبة الحيوية
2.....	1.2.1. التقوية الحيوية
2.....	الخصائص العامة للألياف
2.....	أنواع الألياف الحيوية
4.....	الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للألياف الحيوية
4.....	طرق استخلاص الألياف
4.....	2.2.11. الراتنج الحيوي
4.....	خصائص الفيزو-ميكانيكية للراتنجات الحيوية
5.....	3.1. قولبة المواد المركبة
5.....	1.3.1. القولبة بالتلامس (يدويا)
5.....	2.3.1. القولبة بالإسقاط المتزامن
6.....	3.3.1. الصب بالفراغ
6.....	4.3.1. قولبة باستعمال الضغط
6.....	القولبة بحقن الراتنج
7.....	القولبة بالضغط البارد
7.....	القولبة بالضغط الساخن
7.....	القولبة بالحقن
8.....	صب مستمر
9.....	4.1. إيجابيات وسلبيات المواد المركبة الحيوية
10.....	5.1. مجال استعمال المواد المركبة الحيوية
11.....	الفصل 2: السلوك المرن للمواد المركبة

28.....	1.4. المواد المستعملة.....
28.....	2.4. المادة المدروسة.....
29.....	3.4. الخصائص الميكانيكية المكافئة لطبقة واحدة.....
30.....	4.4. الخصائص الميكانيكية المكافئة للمادة المركبة الصفائحية.....
34.....	الخاتمة العامة.....
35.....	قائمة المراجع

قائمة الاشكال

- الشكل (1.1) الياف الجوت.....3
- الشكل (2.1) الياف القنب.....3
- الشكل (3.1) الياف الرامي.....3
- الشكل (4.1) الياف الكتان.....3
- الشكل (5.1) القولية التلامس5
- الشكل (6.1) مبدأ القولية بالإسقاط المتزامن6
- الشكل (7.1) قولبة الفراغ.....6
- الشكل (8.1) قولبة بحقن الراتنج.....7
- الشكل (9.1) مبدا القولية بالضغط.....7
- الشكل (10.1) قولبة بالحقن8
- الشكل (10.1) قولبة بالضغط للصفائح ولألواح.....8
- الشكل (11.1) قولبة بالحقن.....8
- الشكل (12.1) صب مستمر.....9
- الشكل (13.1) استعمال المواد المركبة الحيوية في اثاث السيارات10
- الشكل (1.2): مركب احادي الاتجاه13
- الشكل (2.2): المحاور الرئيسية (1,2,3) لطبقة صفاحية والمحاور المرجعية (1, 2, 3) = (z, y, x) لصفحة14
- الشكل (3.2): التشوهات في حالة النظرية الكلاسيكية للرقائق.....15
- الشكل (4.2): قانون المزج لمعامل يونغ الطولي.19
- الشكل (5.2): نموذج مورى وتناكا.....19
- الشكل (1.3): حالة الالياف قبل الاستخلاص.....20
- الشكل (2.3): مرحلة قص جريد نخيل التمر.....21
- الشكل (3.3): غمر الالياف في الماء.....21
- الشكل (4.3): فصل الالياف عن اللينين باستعمال الدرفلة.....21
- الشكل (5.3): المرحلة ما قبل الأخيرة لاستخلاص الالياف.....22
- الشكل (6.3): الشكل النهائي للألياف.....22
- الشكل (7.3): تمثيل كيفية تثبيت الألياف في القالب.....23
- الشكل (8.3): الشكل النهائي للمادة المركبة23
- عينة التوتر.....24
- الشكل (10.3): آلات القطع المستعملة.....24
- الشكل (12.3): العينة بعد القص.....24

- الشكل(13.3): آلة تجربة الشد INSTRON5969.....25.....
- الشكل (13.3): عينات شد بعد الكسر.....25.....
- الشكل (9.3): عينة التوتر المستقيم.....24.....
- الشكل (14.3): تمثيل منحني بياني لتجربة الشد للراتنج.....26.....
- الشكل(15.3): منحني بياني لتجربة الشد للمادة المركبة.....26.....
- الشكل(1.4): رسم تخطيطي للمادة المدروسة.....28.....
- الشكل (2.4): خوارزمية تقنية التجانس.....29.....
- الشكل (3.4): ابعاد عينة المادة المركبة الصفائحية.....31.....
- الشكل (4.4): خوارزمية حساب مصفوفة الصلابة للمادة المدروسة.....32.....
- الشكل (5.4): تجربة الشد للمادة المركبة الصفائحية.....33.....

قائمة الجداول

- الجدول (1.1): الخصائص الفيزيو-ميكانيكية للألياف الحيوية.....4
- الجدول (1.2): خصائص الفيزيو-ميكانيكية للراتنجات الصناعية.....4
- الجدول (1.3): تمثيل الخواص الميكانيكية لألياف جريد نخيل التمر.....22
- الجدول (2.3): تبين نتائج تجربة الشد لمادة الراتنج.....27
- الجدول (3.3): تبين نتائج تجربة الشد للمادة المركبة.....27

المقدمة العامة

اعتمد مجال الصناعة في السابق على المواد النقية كالمعادن والمواد البترولية في صناعة الهياكل والمنشآت نتيجة لذلك قلت مصادر هذه الأخير. فلجأ الباحثون انتهاج طرق جديدة لتطوير مجال الصناعة حيث أنهم اعتمدوا مواد جديدة تعرف بالمواد المركبة، وهي عبارة عن مزج مادتين (ألياف + مادة جامعة) وأكثر مختلفة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية بغرض الحصول على مركب جديد متكامل من حيث الصلابة والمقاومة. في بادئ الأمر تم استخدام ألياف ذات طبيعة معدنية كتعزيز وتم الحصول على نتائج جيدة وبحكم انتشار استعمال هذه المواد في عدة مجالات بالتزامن مع تقدم التكنولوجيا قلت مصادر هذه الألياف مما سبب غلاء توفيرها، كذلك خلفت نفاياتاً بإحجام هائلة وصعبة التخلص منها لأنها أصبحت تشكل خطراً كبيراً على البيئة نتيجة لعدم تحلل بقايا هذه المواد وإصدارها لروائح مضرّة بالطبيعة. مما أدى إلى لجوء الباحثين والمطورين اعتماد مواد مركبة جديدة متجددة وأكثر استدامة ذات طابع حيوية (صديقة للبيئة) حيث يمكن استغلال بقايا هذه المواد أو إعادة تدويرها بسبب توفر مكوناتها الطبيعية (ألياف نباتية حيوانية ... إلخ).

بعد عدة دراسات توصل الباحثون والمطورين في مجال الصناعة إلى أن الألياف النباتية هي الأكثر مقاومة من بين الألياف الطبيعية الأخرى بالإضافة سهولة توفيرها، ومن هنا تم التوصل إلى مادة مركبة حيوية مستعملة الألياف النباتية (كالحرير القطن ...) كتعزيز لها وهذا سنتحدث عنه في بحثنا الذي يتمحور حول دراسة وتطوير مادة مركبة حيوية مقواة بألياف طولية من جريد النخيل التمر حيث تناولت هذه الدراسة أربع فصول.

في فصل الأول نعرف بالمادة المركبة الحيوية مما تتكون وكذلك نعرف بالألياف النباتية وخصائصها العامة الميكانيكية والفيزيائية وطرق استخلاصها. كما تحدثنا أيضاً عن الراتنج وأنواعها ومجال استعمالها بالإضافة إلى ذكر أنواع قولبة مواد المركبة الحيوية مميزاتها وسلبياتها وكذلك مجال استعمالها.

في الفصل الثاني تحدثنا عن السلوك المرن للمادة المركبة الحيوية الذي يتناول أنواع المواد المركبة من حيث التركيب. كذلك نتكلم عن سلوك مادة مركبة حيوية صفائحي وكيفية مزج مكوناتها (قانون المزج).

الفصل الثالث يتعلق بتشكيل وتوصيف مادة مركبة حيوية مقواة من ألياف طولية مستخلصة من جريد النخيل التمر، نشرح فيه خطوات التشكيل من بداية التشكيل إلى التوصيف ثم تحليل النتائج.

في الفصل الرابع قمنا بدراسة تحليلية وعددية للمادة المركبة المدروسة باستخدام قوانين المزج قوانين دراسة المواد المركبة الصفائحية باستعمال برنامج ماتلاب ثم قمنا بمقارنة النتائج بالنتائج التجريبية.

الفصل الأول:

عموميات حول المادة المركبة الحيوية

الفصل 1: عموميات حول المادة المركبة الحيوية

المقدمة

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

1.1. المادة المركبة الحيوية

المادة المركبة هي دمج مادتين مختلفتين في الخصائص، أحدهما طور غير مستمر يسمى التقوية حيث يمثل البنية الأساسية للمادة المركبة وهو الهيكل المقاوم للاجهادات والقوى الميكانيكية. أما الطور الثاني هو عبارة عن طور مستمر يسمى المصفوفة حيث وظيفتها احتواء المادة المقوية وإعطاء الشكل النهائي للمادة المركبة وحماية المادة المقوية من العوامل الخارجية. وتحمل الحمل الاجهادي المطبق على المادة المركبة إلى المادة المقوية لمقاومته والحفاظ على قوام المادة المركبة. وتطلق عليها حيوية لان مكوناتها ذو طبيعة حيوية قابلة لتحلل بعد إهلاكها أو قابلة لتدوير. [1].

2.1. مكونات المادة المركبة الحيوية

1.2.1. التقوية الحيوية

التقوية الحيوية وهي تعزيزات طبيعية تنقسم إلى ثلاث مجموعات رئيسية حسب أصلها، حيواني، نباتي ومعدي. في دراستنا هذه نهتم بشكل خاص بالألياف النباتية، التي تأتي من كتلة الحيوية حيث يمكن استخلاصها من الفاكهة أو الساق أو أوراق النبات. وهي تتكون أساساً من السليلوز، الايميسليلوز، اللينين والبكتين.

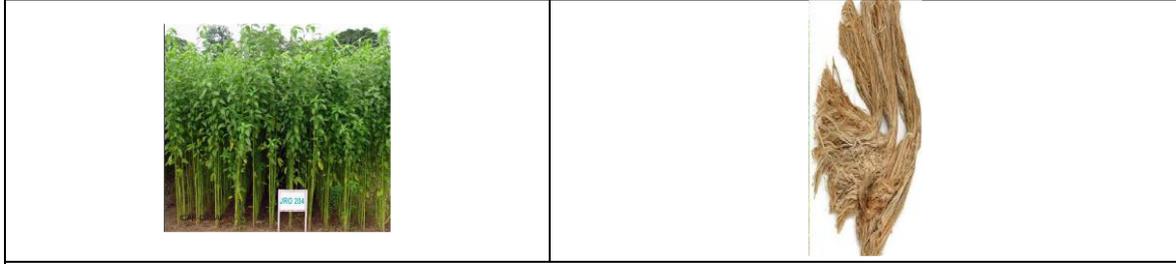
أ. الخصائص العامة للألياف [4]

- كثافتها الحجمية منخفضة
- قابلة لتحلل في التربة
- مقاومة للمواد الكيميائية والحرارة وأشعة الشمس
- القدرة على التلوين

ب. أنواع الألياف الحيوية [5]

يوجد العديد من الألياف الحيوية نذكر منها

- القنب
- الجوت
- الرامي
- الكتان



الشكل(1.1)الياف الجوت



الشكل(2.1)الياف القنب



الشكل(3.1)الياف الرامي



الشكل(4.1)الياف الكتان

ت. الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للألياف الحيوية

تعتبر الألياف الحيوية بشكل عام تعزيزات جيدة لمصفوفات اللدائن الحرارية أو المصفوفة الحرارية بسبب قوتها العالية نسبياً وكثافتها المنخفضة. تصل خصائص معينة لألياف القنب والياف الكتان إلى قيم قريبة جداً من تلك الموجودة في الألياف الزجاجية (جدول 1.1) [5]

الجدول (1.1): الخصائص الفيزيو-ميكانيكية للألياف الحيوية

الألياف	الكتلة الحجمية (g/cm^3)	الاجهاد (MPa)	معامل يونغ (GPa)	الاستطالة (%)
الكتان	1.4	1500-88	80-60	1.6-1.2
عبدان	1.48	900-550	70	1.6
الجوت	1.46	800-400	30-10	1.8
الرامي	1.5	500	44	2

ث. طرق استخلاص الألياف [5]

هناك عدة طرق شائعة لاستخلاص الألياف النباتية نذكر منها:

- الاستخلاص ميكانيكي
- الاستخلاص كيميائي
- الاستخلاص بيولوجي

2.2.1. الراتنج الحيوي

الراتنج الحيوي هي مادة هيكلية كيميائية معقدة تنتجها أنواع معينة من الأشجار أو تنتج اصطناعياً، تتصلب عند تلامسها مع الهواء ولا تذوب في الماء. لكنها تذوب تماماً في المذيبات الكيميائية. يظهر الراتنج الحيوي بألوان مختلفة، اعتماداً على المصدر المستخلص منه، يمكن أن يكون الراتنج إما شفافاً أو بنيّاً داكناً أو اسوداً. الراتنجات الاصطناعية و هي البوليمرات الحرارية (الايبوكسي) او اللدائن (البولي بروبيلان). اما الراتنجات الطبيعية فيتم استخلاصها من الأشجار (الصنوبر، العنبر، ...). [6]

أ. خصائص الفيزيو-ميكانيكية للراتنجات الحيوية

يمثل الجدول التالي بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لراتنجات الصناعية الأكثر استعمالاً في مجالات الصناعات الهيكلية الطيران، السيارات وصناعات منزلية... الخ.

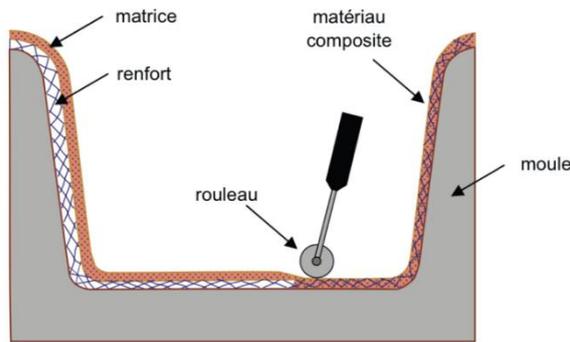
الجدول (1.2): خصائص الفيزيو-ميكانيكية للراتنجات الصناعية

الألياف	الكتلة الحجمية (g/cm^3)	المقاومة (MPa)	معامل يونغ (GPa)	الاستطالة (%)
الايبوكس	1.1-1.5	130	4.5	2
البولي بروبيلان	0.9	30	1.2	400-20
البولياميد	1.1	70	2	200

3.1. قولبة المواد المركبة

1.3.1. القولبة بالتلامس (يدويا)

- يتم تشكيل المواد المركبة بطريقة القولبة بالتلامس عبر المراحل التالية:
- يتم تغليف قالب براتنج محفز ومسرع، بفرشاة أو بكرة. يساعد هذا النوع من الراتنج في سهولة نزع القطعة المشكّلة من القالب.
 - التعزيز: عبارة عن حصائر، قماش، إلخ، يتم وضعها في القالب. يمكن استخدام أنواع مختلفة من التعزيزات اعتمادًا على الأجزاء المراد تشكيلها.
 - يتم بعد ذلك تشريب التعزيز بالراتنج، ثم يتم إجراء السمط باستخدام أسطوانة مدببة وذلك لإزالة الهواء بين الطبقات.
 - بعد تبلور الطبقة الأولى، يتم وضع الطبقات اللاحقة باستخدام نفس التقنية. يمكن وضع الحشوات بين هذه الطبقات: الأنابيب، والبراغي، والصواميل، والتجهيزات، إلخ.
 - يتم بعد ذلك إزالة القوالب بعد وقت يعتمد على مادة الراتنج ودرجة الحرارة (حوالي 10 ساعات).
 - تتم البلمرة بعد ذلك في بيئة محيطة لعدة أسابيع. يمكن تسريع هذه البلمرة اختياريًا بالتسخين (على سبيل المثال من 5 إلى 10 ساعات، حوالي 80 درجة مئوية).
 - بعد البلمرة، يتم الانتهاء من الأجزاء الغير مرغوب فيها: إزالة الحواف، الصنفرة، وأخيرًا الطلاء.



الشكل (5.1): القولبة التلامس

2.3.1. قولبة الإسقاط المتزامن

يتم إجراء عملية الصب عن طريق الإسقاط المتزامن للألياف المقطوعة والراتنج المحفز على قالب. يتم بعد ذلك ضغط طبقة الألياف المشبعة بالراتنج وتحريرها من الفقاعات باستخدام بكرة موجة. يتيح قولبة الإسقاط الحصول على سلسلة كبيرة من الأجزاء، مع سعر منخفض التكلفة.

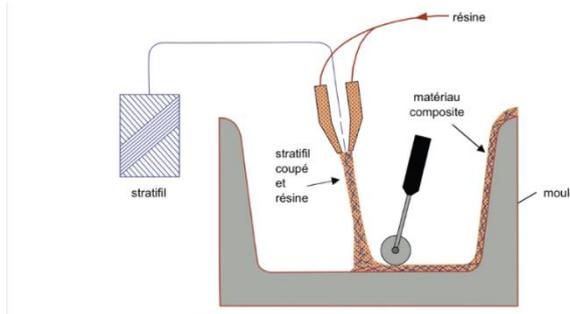


Figure 3.2. Principe du moulage par projection simultanée.

الشكل (6.1): مبدأ القولية بالاسقاط المتزامن

3.3.1. صب الفراغ

يتضمن صب الفراغ، الاستخدام المتزامن للفراغ والضغط الجوي. بعد الطلاء بطبقة هلامية، يتم وضع التعزيز على قالب صلب، يتم بعد ذلك تركيب القالب المضاد، المغطى بغشاء لضمان مقاومة الماء (لوح من المطاط، النايلون، إلخ). تخلق مضخة التفريغ انخفاضاً من خلال القالب والقالب المسمى المضاد. ثم يتم صب الراتنج عن طريق انتشارها في الفراغ الذي أحدثته المضخة.

يمكن أن يقتصر القالب المضاد على غشاء العزل المائي الفردي. عملية التشكيل هذه مناسبة لتصنيع الأجزاء في السلاسل الصغيرة والمتوسطة. إنه يوفر صفات ميكانيكية جيدة، بفضل نسبة موحدة من الراتنج وتقليل شوائب الهواء. عند استخدام قالب مضاد صلب، يتم الحصول على مظهر جيد للسطح على كلا الجانبين. ومع ذلك، فإن معدلات الإنتاج بطيئة للغاية.

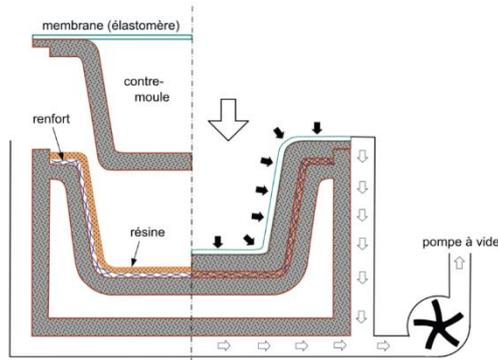


Figure 3.3. Moulage sous vide.

الشكل (7.1): صب الفراغ

4.3.1. قولبة باستعمال الضغط

أ. قولبة بحقن الراتنج

تتكون القولية بحقن الراتنج تحت الضغط، ونشرية تقوية موضوعة داخل قالب ومضاد القالب شديدين الصلابة ومغلقين بإحكام. عملية التشكيل هذه مناسبة لعمل الأجزاء العميقة وأشكال معقدة. يمكن أن يكون التعزيز مرتفع الخصائص وبالتالي الحصول على أجزاء ذات أجزاء ميكانيكية عالية.

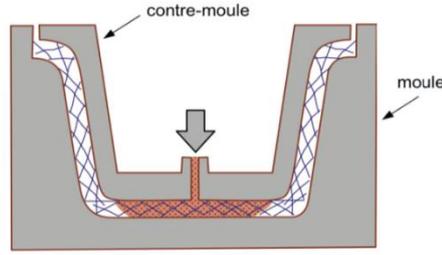


Figure 3.4. Moulage par injection de résine.

الشكل (8.1): قوالبه بحقن الراتنج

ب. قوالبه الضغط البارد

يتم تنفيذ القوالب تحت ضغط منخفض (أقل من 5 بار) دون تسخين القالب، في استخدام طاردة للحرارة للبلمره من الراتنج. الطاقة الحرارية المتراكمة يتم صقلها بقوالبه الأجزاء ثم يكفي للحفاظ على القالب عند درجات حرارة من 50 إلى 70 درجة مئوية، في حالة تشغيل دائم. يتم تغليف القالب والقالب المضاد بعامل تحرير وطبقة هلامية. ثم يتم وضع التعزيز والمصفوفة على القالب. ثم ضغط. يرتبط وقت البلمره بنوع الراتنج. عملية التشكيل هذه مناسبة لتصنيع أجزاء السلسلة المتوسطة (من 4 إلى 12 جزء في الساعة).

ت. قوالبه الضغط الساخن

تتيح هذه التقنية إمكانية الحصول على أجزاء في مجموعات كبيرة باستخدام مكابس هيدروليكية وقوالب معدنية مسخنة. يتم ترسيب التعزيز، الذي يتكون من حبلا مقطوعة أو حصيرة أو أقمشة أو أشكال مسبقة الصنع، على قالب التسخين، ومغلف مسبقاً بعامل تحرير القالب. ثم يُسكب الراتنج المحفز بكميات كبيرة على التعزيز. يتم إغلاق القالب وفقاً لدورة محددة عن طريق خفض قالب العداد والضغط عليه. يرتبط وقت الضغط بوقت بلمره الراتنج، وهي دالة لتفاعل الراتنج وسمك الجزء. ثم يتم فتح القالب وإخراج الجزء. تتيح عملية التشكيل هذه الحصول على نسب كبيرة من التعزيزات، وبالتالي الحصول على أجزاء ذات خصائص ميكانيكية جيدة.

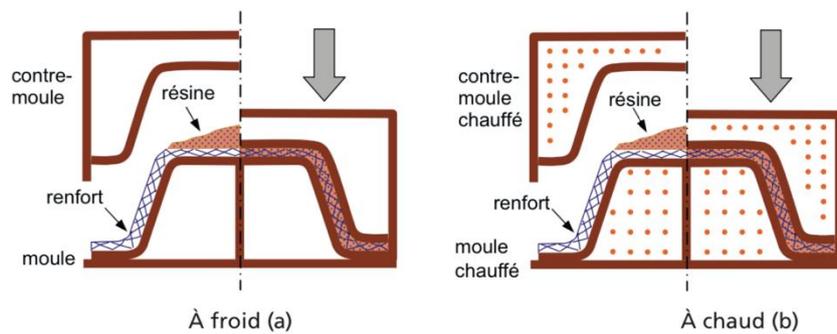


Figure 3.5. Principe du moulage par compression.

الشكل (9.1): القوالبه بالضغط

ث. قوالبه بالحقن

طريقة القولية بالحقن هي الطريقة الأكثر انتشارًا لطرق تنفيذ اللدائن الحرارية المقواة (الطرق الأخرى هي البثق، النفخ بالبثق، التشكيل الحراري، إلخ). يتم إجراء عملية القولية بالحقن على مكابس تقليدية تستخدم لحقن راتنج اللدائن الحرارية. يتم بثق الحبيبات التي تشتمل على الراتنج والتعزيز (ألياف قصيرة إلخ) بواسطة لولب أرخميدس. يتم تميع الراتنج بالتسخين وحقتها تحت ضغط عالٍ في قالب ساخن، حيث تحدث البلمرة. يُشار عمومًا إلى نوع المواد التي تم الحصول عليها باسم "البلاستيك المقوى". هذه التقنية مناسبة لإنتاج الأجزاء في سلسلة كبيرة جدًا.

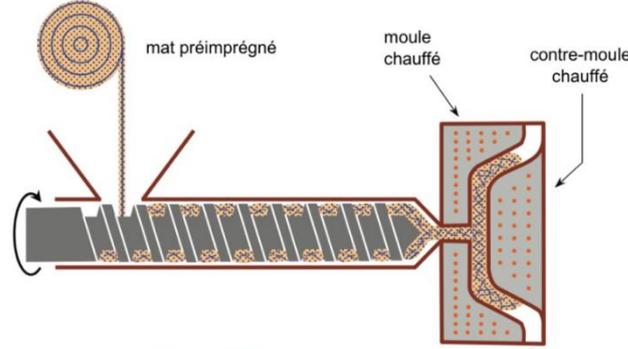


Figure 3.6. Moulage par injection.

الشكل (10.1): القولية بالحقن

ج. صب مستمر

يسمح التشكيل المستمر بتصنيع الألواح المسطحة، والألواح، والسندويشات، والألواح المموجة للأسقف، والألواح المضلعة، إلخ. من الناحية التخطيطية، يمكن فصل هذه العملية إلى عدة مراحل.

- مرحلة تشريب التعزيزات: ألياف، حصائر أو أقمشة. يتم نقل الراتنج المحفز والتعزيز على فيلم إطلاق (السيلوفان، المايلا، البولي إيثيلين، إلخ).
- مرحلة التنسيق.
- مرحلة بلمرة، يتم إجراؤها في فرن (60 إلى 150 درجة مئوية) على شكل نفق، يعتمد طولها على درجة الحرارة والراتنج (بطول 15 إلى 50 مترًا).
- مرحلة التبريد والقطع. في حالة تصنيع الألواح المسطحة، يتم التشكيل ببساطة عن طريق ضبط سمك اللوحة، بالضغط بين لفات التقويم. في حالة الألواح المموجة، يتم التشكيل أثناء البلمرة، بواسطة بكرات متحركة.

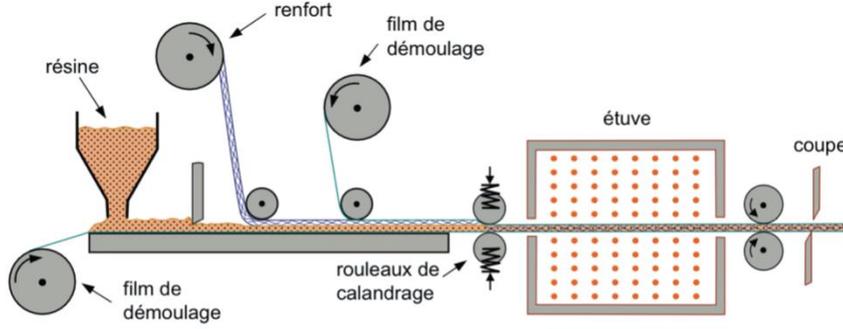


Figure 3.7. Moulage en continu de plaques.

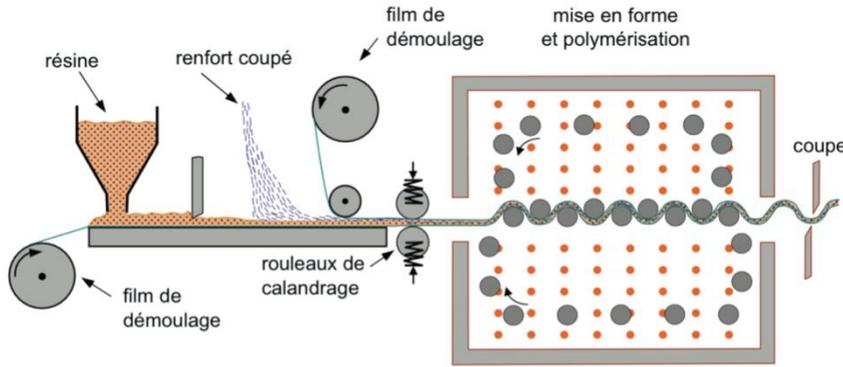


Figure 3.8. Moulage en continu de panneaux ondulés.

الشكل (11.1): صب مستمر للألواح والصفائح

4.1. إيجابيات و سلبيات المواد المركبة الحيوية

- موارد متجددة
- انخفاض استهلاك الطاقة أثناء معالجة،
- سهولة التوفر،
- تكلفة منخفضة،
- كثافة منخفضة (وزن محدد)
- يضمن صلابة عالية النوعية مقارنة بالألياف الزجاجية، على سبيل المثال،
- خصائص جيدة للصوت والعزل،
- إنتاج أكثر أماناً في مقارنة مع الألياف الاصطناعية،
- لا يوجد خلق لثاني أكسيد الكربون،
- انخفاض إنتاج النفايات [8]
- بالإضافة إلى المركبات الحيوية، تقتصر على
- استقرار الحرارة المنخفضة
- عدم مقاومة الفطريات والكائنات الحية الدقيقة،

- احتمالية التعفن،
- امتصاص عالي للرطوبة،
- تباين الأبعاد والخصائص على 2000 درجة مئوية أثناء معالجة المواد المركبة، لأن الألياف النباتية عرضة للتحلل في درجات الحرارة العالية،
- ارتفاع سعر المصفوفات القابلة للتحلل.
- الميكانيكية،
- تم ضبط حد درجة الحرارة [9]

5.2. مجال استعمال المواد المركبة الحيوية

لقد لوحظ نمو كبير في استخدام المركبات الحيوية في القطاع المحلي ومواد البناء وصناعة الطيران ولوحات الدوائر وتطبيقات السيارات على مدار العقد الماضي ولكن التطبيق في القطاعات الأخرى حتى الآن كان محدوداً. ومع ذلك مع التطوير المناسب توجد إمكانية لدخول المركبات الحيوية إلى أسواق جديدة وبالتالي تحفيز زيادة الطلب. تم فحص العديد من أنواع الألياف الطبيعية باستخدام مصفوفات البوليمر لإنتاج مواد مركبة قادرة على المنافسة مع مركبات الألياف الاصطناعية التي تتطلب اهتماماً خاصاً. يمكن استخدام النفايات الزراعية لإعداد مركبات البوليمر المقوى بالألياف للاستخدام التجاري ولها جاذبية تسويقية. أدى القلق البيئي والاجتماعي العالمي المتزايد ونسبة عالية من استنفاد الموارد البترولية والأنظمة البيئية الجديدة إلى إجبار البحث عن مركبات جديدة تتوافق مع البيئة.



الشكل (12.1): استعمال المواد المركبة الحيوية في اثاث السيارات

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. كما تطرقنا في الأخير بعض قوانين التجانس الخاصة بالمواد المركبة.

1.2. عموميات حول السلوك المرن للمواد

1.1.2. مرونة خطية

هي دراسة رياضية لكيفية تشويه الأجسام الصلبة ليصبح الجسم متداخل أو ممددا بسبب الظروف التي تعرض لها بسبب الاجهادات. تعتمد المرونة الخطية على الفرضية الاستمرارية وتطبق مرئيا ومجهريا. والمرونة الخطية هي تبسيط للنظرية الأكثر عموما وهي نظرية المرونة الغير خطية ومعادلتها هي:

$$\sigma = C\varepsilon$$

هذا القانون، المسمى بشكل عام قانون هوك المعمم، يقدم مصفوفة الصلابة C ، المتناظرة. يتم وصف السلوك الخطي للمادة في الحالة العامة بواسطة 21 معاملاً مستقلاً. يمكن كتابة علاقة المرونة بالصيغة المعكوسة، على النحو التالي:

$$S = C^{-1} \quad \varepsilon = S\sigma$$

S : مصفوفة المرونة (متناظرة).

2.1.2. الجسم غير المتماثل

هو جسم له خصائص مادية مختلفة حسب كل الاتجاهات في نقطة ما من الجسم ولا توجد مستويات تناظر خاصة وتعتمد الخصائص على الاتجاهات في نقطة من الجسم [12]. يتم تحديد كل من مصفوفة الصلابة ومصفوفة المرونة بواسطة 21 ثابتاً مستقلاً. تتوافق هذه الحالة مع مادة ليس لها خصائص تناظر. تسمى هذه المواد بثلاثية الميل أو مواد متباينة الخواص.

3.1.2. الجسم الأحادي التناظر

هو جسم مع سطح واحد متناظر. لا يجب تغيير مصفوفة الصلابة او مصفوفة المرونة من خلال التحول فيما يتعلق بتناظر هذا السطح. في الحالة التي يكون فيها السطح متناظر تعطى مصفوفة الصلابة بالشكل التالي:

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

مصفوفة الصلابة متناظرة. عدد المعاملات المستقلة تقلل إلى 13 معامل.

4.1.2. مواد المتعامدة

تحتوي المادة المتعامدة على ثلاث مستويات من تناظر متعامدة فيما بينها مثنى مثنى؛ كل مستوى يكون ناظمي بالنسبة للآخرين. وجود اثنين منهم يعني وجود مستوى الثالث. يتم الحصول على مصفوفة الصلابة بعد ذلك عن طريق إضافة مستوى آخر من التناظر للمادة أحادية التناظر.

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix}$$

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

5.1.2. المادة المتماثلة

المادة المتماثلة هي مادة تظل متطابقة عند تطبيق إجهاد الشد عليها في جميع الاتجاهات. الخصائص الميكانيكية هي نفسها مهما كانت الاتجاهات المدروس وبالتالي يجب أن تكون مصفوفة الصلابة والمرونة ثابتة.

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{11} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{12} & C_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(C_{11} - C_{12}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(C_{11} - C_{12}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(C_{11} - C_{12}) \end{bmatrix}$$

بشكل عام، يتم أيضًا استبدال معاملات الصلابة بـ λ و μ ($\mu = G$) وهما معاملي لامى:

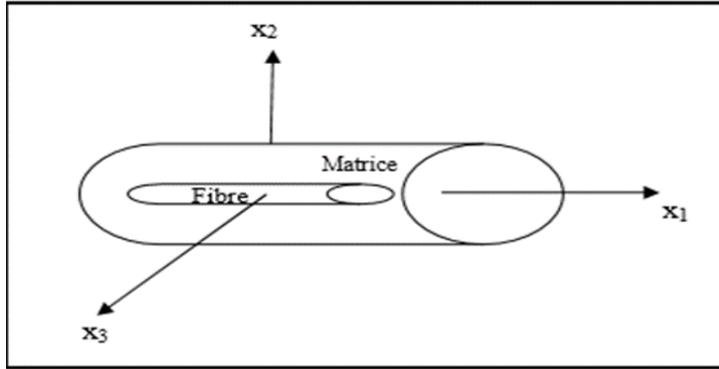
$$C_{12} = \lambda$$

$$\frac{C_{11} - C_{12}}{2} = \mu$$

2.2 السلوك المرن للمواد المركبة

1.2.2 السلوك المرن لمادة مركبة أحادية الاتجاه [16]

يمكن اعتبار أن الخلية الأولية لمركب أحادي الاتجاه تتكون من ألياف محاطة بأسطوانة من مصفوفة (الشكل 4) وبالتالي فإن المادة تتصرف مثل مادة ثنائية الميل زائد محور دوران.



الشكل (1.2): مركب احادي الاتجاه

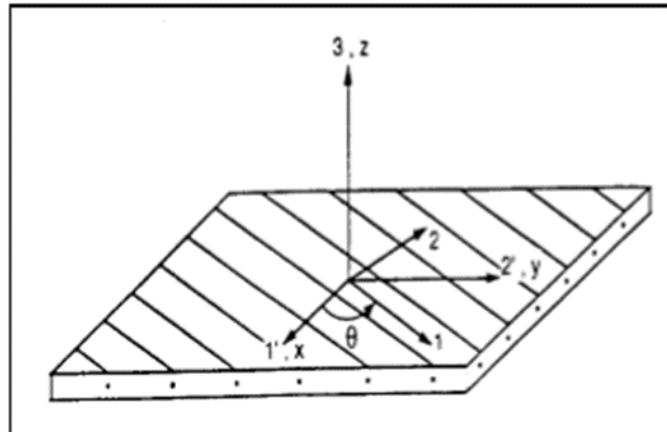
3.2 السلوك المرن لمواد مركبة الصفائحية

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

1.3.2 السلوك المرن لطبقة صفائحية خارج المحاور [14] [16]

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 ازاحة اتجاه الألياف منطبقة إلى أخرى. لدراسة السلوك المرن لهذه الصفائح، من الضروري أخذ نظام من المحاور المرجعية للصفائح بأكملها، وربط السلوك المرن لكل طبقة بهذا النظام المرجعي [14]. 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 [14] (z,y,x).



الشكل (2.2): المحاور الرئيسية (1,2,3) لطبقة صفائحي والمحاور المرجعية (1, 2, 3) =
 لصفيحة (z, y, x)

هو:

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

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

يمكن كتابة علاقات التغير الأساسية المتعلقة بالإجهاد والتشوهات بطريقة عامة في الأشكال [14]:

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

ومن 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. تتيج هذه العلاقات تحديد مصفوفة الصلابة (C') و مصفوفة المرونة (S') المعبر عنها في القاعدة (1, 2, 3) [14].
 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:

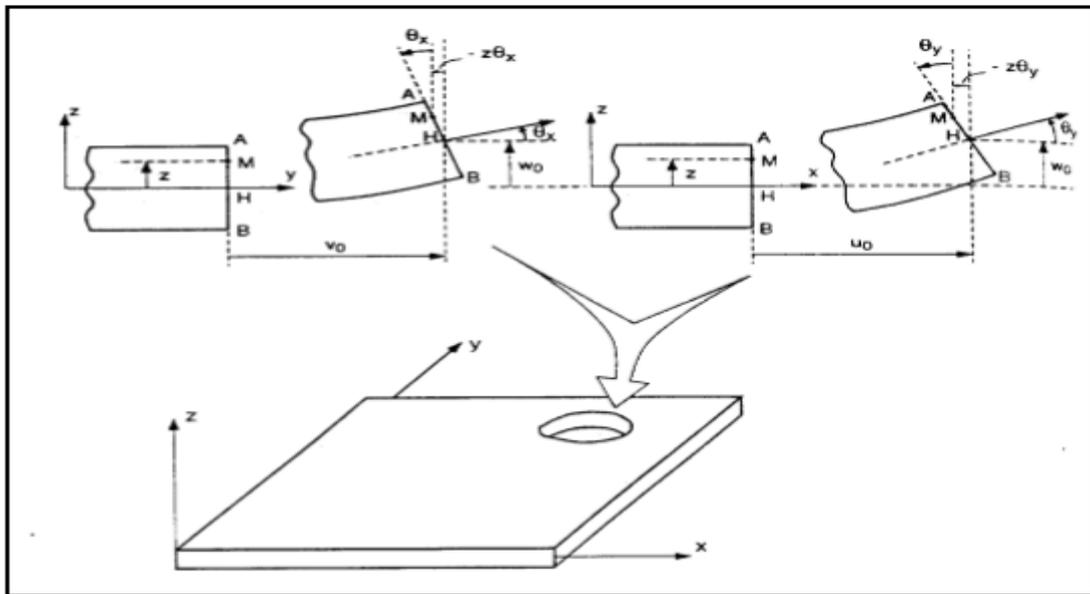
$$S' = T S T^{-1} \quad \text{II.16}$$

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

4.2. السلوك المرن للمركب الصفائحي: [14]

في نظرية الصفائح، تعتبر مجموعة الطبقات المكونة من الألياف والمصفوفة مادة متجانسة ومتباينة الخواص. لذلك، مبادئ نظرية المرونة وثنى الألواح قابلة للتطبيق. في عملنا الحالي، ينحصر استخدام نظرية اللامينات في تحديد الخواص الميكانيكية للصفحة [14].

1.4.2. نظرية التصفيح الكلاسيكية



الشكل (3.2): التشوهات في حالة النظرية الكلاسيكية للرفائق [14]

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

التشوه. [14]

- يكتب حقل الانتقال:

$$u(x, y, z) = u_0(x, y) - z\theta_y$$

$$v(x, y, z) = v_0(x, y) - Z\theta_x \quad \text{avec : } \theta_x = \frac{\partial w_0}{\partial y}, \theta_y = \frac{\partial w_0}{\partial x} \quad \text{II.17}$$

$$w(x, y, z) = w_0(x, y)$$

يكتب حقل التشوهات:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u_0}{\partial x} - z \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2}$$

$$\varepsilon_{yy} = \frac{\partial v_0}{\partial y} - z \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} \quad \text{II.18}$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x} - 2z \frac{\partial^2 w_0}{\partial x \partial y}$$

$$\varepsilon_{zz} = \varepsilon_{xz} = \varepsilon_{yz} = 0$$

أخيرًا، 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:

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

- $\varepsilon_m(x, y)$ تشوهات الغشاء
- $k(x, y)$ الانحناء والتواء التشوه

يكتب حقل التشوهات:

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

يتم التعبير عن الضغوط في الطبقة k على النحو التالي:

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

' مصفوفة الصلابة المخفضة للطبقة. $k (3 \times 3)$

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

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

أو أخيرًا بالشكل:

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

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

$$B = [B_{ij}] = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^n (h_k^2 - h_{k-1}^2) (\rho'_{ij})_k$$

N: الاجهادات في الغشاء

A: مصفوفة غشاء الصلابة.
 B: مصفوفة اقتران الغشاء-الانحناء-الالتواء.
 - مجال عزم الانحناء والالتواء بالشكل التالي:

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

حيث

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

$$D = [D_{ij}] = \frac{1}{3} \sum_{i=0}^n (h_k^3 - h_{k-1}^3) (\rho'_{ij})_k \quad \text{II.26}$$

مع:

M_f : عزم الانحناء و الالتواء
 D : مصفوفة الصلابة في الانحناء

2.4.2. معادلة سلوك المركب الصفائحي

المعادلة التأسيسية للصفحة الرقائقية تعبر عن الاجهادات والعزوم وفقا للتشوهات في الغشاء والانحناءات يتم الحصول عليها من خلال تجميع التعبيرات بعد كتابة المصفوفة (II.24) والمصفوفة (II.26) في مصفوفة واحدة [14]:

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

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

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

$$B_{ij} = \sum_{k=1}^n (\rho'_{ij})_k e_k z_k \text{ مع } e_k = h_k - h_{k-1} \quad \text{II.28}$$

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

Q'_{ij} : مصفوفة الصلابة المنخفضة للطبقة k .
 تحويلات الصلابة المنخفضة Q هي:

$$Q'_{11} = Q_{11} \cos^4 \theta + 2(Q_{12} + 2Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{22} \sin^4 \theta$$

$$Q'_{22} = Q_{11} \cos^4 \theta + 2(Q_{12} + 2Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{22} \cos^4 \theta$$

$$Q'_{12} = (Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{12} (\sin^2 \theta + \cos^4 \theta) \quad \text{II.29}$$

$$Q'_{66} = (Q_{11} + Q_{12} - 2Q_{12} - 2Q_{66})\sin^2\theta\cos^2\theta + Q_{66}(\sin^4\theta + \cos^4\theta)$$

$$Q'_{16} = (Q_{11} + Q_{12} - 2Q_{66})\sin\theta\cos^3\theta + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66})(\sin^3\theta + \cos\theta)$$

$$Q'_{26} = (Q_{11} + Q_{12} - 2Q_{66})\sin^3\theta\cos\theta + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66})(\cos^3\theta + \sin\theta)$$

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

$$Q_{11} = \frac{E_L}{\left(1 - \frac{E_T}{E_L} \nu_{LT}^2\right)}$$

$$Q_{22} = \frac{E_T}{E_L} Q_{11}$$

II.30

$$Q_{12} = \nu_{LT} Q_{22}$$

$$Q_{66} = G_{LT}$$

5.3 طرق تجانس المواد المركبة

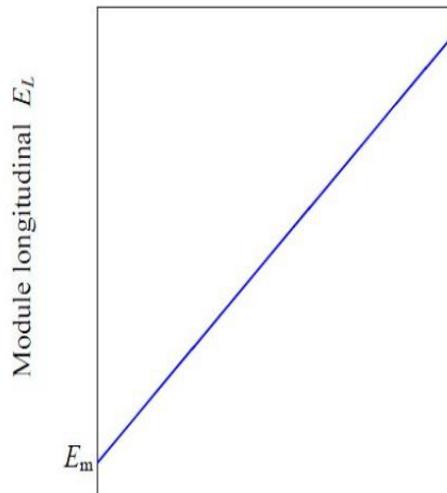
تعتبر قوانين التجانس طرق فعالة لتحديد السلوك الميكانيكي التقريبي للمواد المركبة وفقًا لخصائص مكوناتها الأساسية المصفوفة والتعزيز. ولكن يجب أن تكون القوانين المطلوبة سريعة وسهلة التطبيق وتعتمد على التعريفات الفيزيائية. ومنه يعد التجانس التحليلي مناسبًا لتحسين المواد المركبة ويسمح بالحصول بسرعة على تقديرات للخصائص الفعالة. هناك العديد من طرق التجانس العددي نذكر منها: قانون المزج، بورن وغيس، شيلبي وموري وتانكا.... الخ.

1.5.2. قانون المزج

يتضمن هذا الافتراض مفهومًا للإحصائيات المتوسطة، حيث يتم تحسين التكوين الفعلي للمادة من خلال اعتبارها مادة مستمرة. يمكن أن تكون الاختلافات في الخصائص من نوعين: إما مستمر (المصفوفة) أو غير مستمر (التعزيزات) كما في حالة المواد المركبة. بمجرد قبول نموذج الاستمرارية، يتم استنتاج مفهوم التجانس منه. ثم يتم تمييز الوسط المتجانس بخصائص متطابقة في كل نقطة. وعلى هذا الأساس يكون تغير المعامل المرنة خطيًا بين قيم معامل المرنة E_m للمصفوفة ومعامل المرنة E_f للتعزيزات، عندما يختلف الكسر الحجمي V_f للألياف من 0 إلى 1. ومنه تعطى علاقة معامل المرنة للمادة المركبة بالقانون التالي:

$$E_c = E_f V_f + E_m (1 - V_f)$$

يُعرف هذا التعبير بقانون التمازج: الألياف. تم تخطيط قانون التمازج

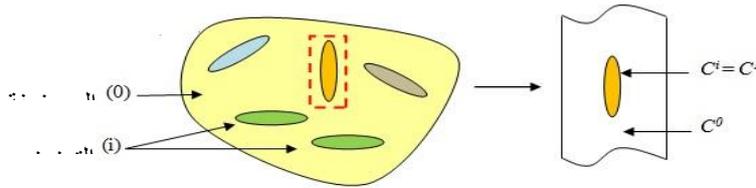


هذا في الشكل ضع رقم الصورة. E_f

الشكل (4.2): قانون المزج لمعامل يونغ الطولي.

2.5.2. قانون موري تنكا

يعرف هذا النموذج الذي قدمه موري وتانكا في عام 1973 لمادة مركبة مرنة خطية مع وسيطين (مصفوفة وتعزيز) يفترض أن تكون متجانسة. يعتبر موري وتانكا أن التعزيز مغمور في وسط لا نهائي له خصائص المصفوفة (أنظر الشكل رقم). الكل يخضع لمتوسط تشوه المصفوفة المشكلة للمادة المركبة. ومنه تتيح هذه الطريقة حساب خصائص المادة المركبة بالقوانين التالية:



الشكل (5.2): نموذج موري و تنكا.

$$C_c = C_0 \left[I + \left(\sum_{i=1}^n f^i L^i \right) \left(I + \sum_{i=1}^n f^i (S_{Esh}^i - I) L^i \right)^{-1} \right]^{-1}$$

C_c هي مصفوفة الصلابة للمادة المركبة المكافئة

$$L^i = [(C^i - C_0) S_{Esh}^i + C_0]^{-1} (C^i - C_0)$$

L_i هي المصفوفة الزافة للتوطين الطور "i"

$$S_{Esh}^i = R T_i R^{-1} S_{Esh} R T_i^{-1} R^{-1}$$

يمثل S_{Esh}^i مصفوفة شيلبي لطور "i"

الفصل 3:

تشكيل وتوصيف المادة المركبة

الفصل 3: تشكيل وتوصيف المادة المركبة

المقدمة

شغلت المركبات المقواة بالألياف العضوية اهتماما متزايدا نظرا لتكلفتها وكثافتها المنخفضة، وقابليتها لتحلل البيولوجي، وتوفرها بكثرة وسهولة معالجتها ومعاملها النوعي العالي. هنالك عدة ألياف عضوية قد استعملت في تعزيز المواد المركبة مثل القنب والكتان والجوت. ولقد اثنوا اهتمامهم في مختلف المجالات الصناعية، وفي الأونة الأخيرة بدأت ألياف النخيل التمر جذب انتباه الباحثين. يقدم هذا الفصل تحضير وتوصيف الميكانيكي لمركب يعتمد على ألياف مستخلصة من جريد نخيل تمر لمنطقة برج بن عزوز ببسكرة.

1.4. 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) ويستخدم لتصفية مختلف الدعامات يكون لونه قسطري (بني داكن) ويأتي على شكل عنصرين:

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

2.1.3 خصائص الراتنج إيبوكسي (resin)

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

3.1.3. الألياف المستعملة

قمنا باستخلاص الألياف الحيوية (النباتية) المستعملة من جريد النخيل التمر (الشكل 1.3) بمنطقة برج بن

عزوز ببسكرة حيث تم قص 17 عينة. العينات تم انتقاؤها من الجزء الغني بالألياف في جريد الذي يأتي على شكل

أسطوانة ذات طول 45 سم (الشكل 2.3)



الشكل (1.3): حالة الاليف قبل الاستخلاص



الشكل (2.3): مرحلة قص جريد نخيل التمر
بعد ذلك نضع العينات في الماء لمدة سبعة أيام بغرض تفكيك مادة اللينين عن الاليف كما موضح في (الشكل 3.3)



الشكل (3.3): غمر الاليف في الماء
عند انتهاء المدة يتم استخلاص الاليف (استخلاص ميكانيكي) باستعمال آلة الدرفلة كالآتي (الشكل رقم 4.3)



الشكل (4.3): فصل الاليف عن اللينين باستعمال الدرفلة

يتم القيام بعملية الدرفلة عدة مرات لتسهيل استخلاص الألياف (الشكل 5.3)



الشكل (5.3): المرحلة ما قبل الأخيرة لاستخلاص الألياف بعد القيام بعملية الدرفلة نقوم بفصل الألياف وانتقاء الألياف المتساوية القطر والطول. (الشكل 6.3)



الشكل (6.3): الشكل النهائي للألياف

4.1.3. خصائص الألياف

تم الحصول على قيم لخصائص الألياف المستخدمة في دراستنا من أطروحة الدكتوراه للباحث جودي طارق بحيث يمثل الجدول التالي الخصائص الميكانيكية لألياف جريد نخيل التمر.

معامل يونغ E(GPa)	معامل بواسون (/) ν	الاجهاد الاقصى σ _{max} (Mpa)	القطر (mm)	الياف جريد التمر
17.93±5.92	0.12±0.02	198.24±157.58	0.25 - 0.81	

الجدول (1.3): يمثل الخواص الميكانيكية لألياف جريد نخيل التمر

2.3. تشكيل المادة المركبة

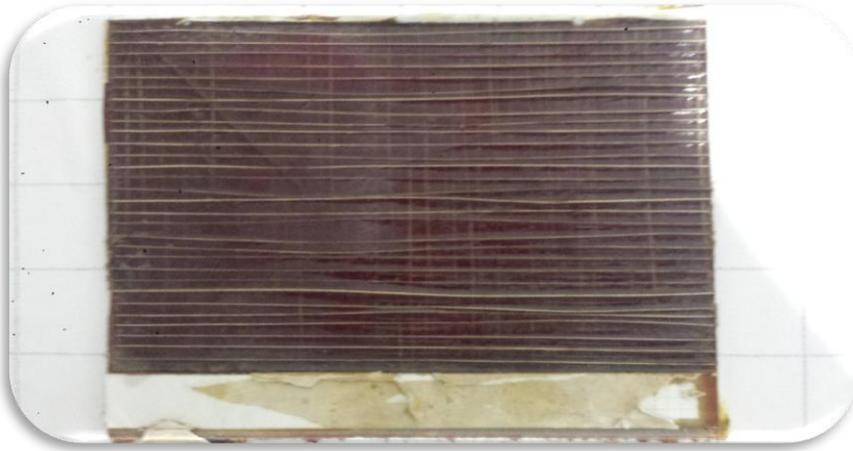
بغرض تشكيل المادة المركبة قمنا بالمرور على عدة خطوات نذكرها كالتالي:
إنشاء قالب مستطيل الشكل بأبعاد (250×160) مم² ثم تثبيت الألياف على ثلاث طبقات كالآتي (الشكل 7.3)

- الطبقة الأولى 0°
- الطبقة الثانية 90°
- الطبقة الثالثة 0°



الشكل (7.3): يمثل كيفية تثبيت الاليف في القالب

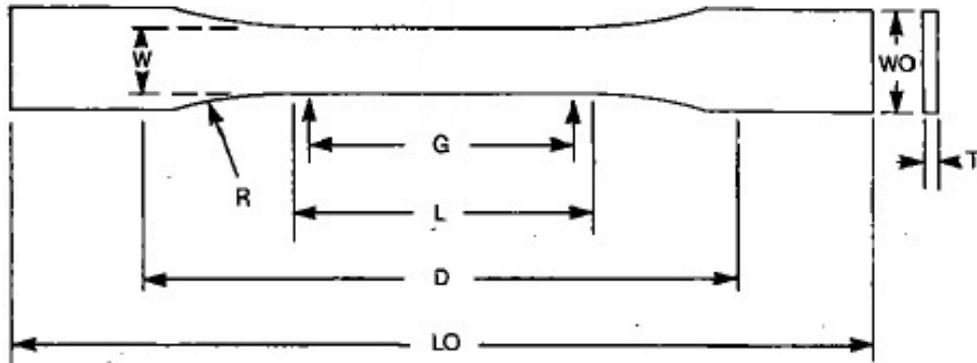
في المرحلة التي تليها نقوم بصب الراتنج في القالب ونتركه يجف لمدة 24 ساعة الشكل (8.3)



الشكل (8.3): شكل النهائي للمادة المركبة

3.3. إعداد العينات

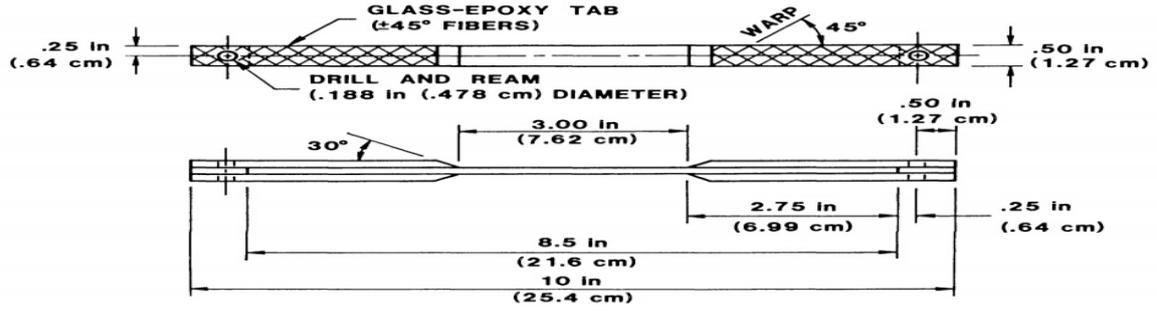
يتم استخدام نوعان من العينات الخاصة باختبار الشد في سياق هذه الدراسة. بالنسبة لاختبار الراتنج بدون تقوية استخدمنا العينة من نوع التالي ASTM D638-02a.



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

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

اما بالنسبة للمادة المركبة استخدمنا العينة من النوع التالي:

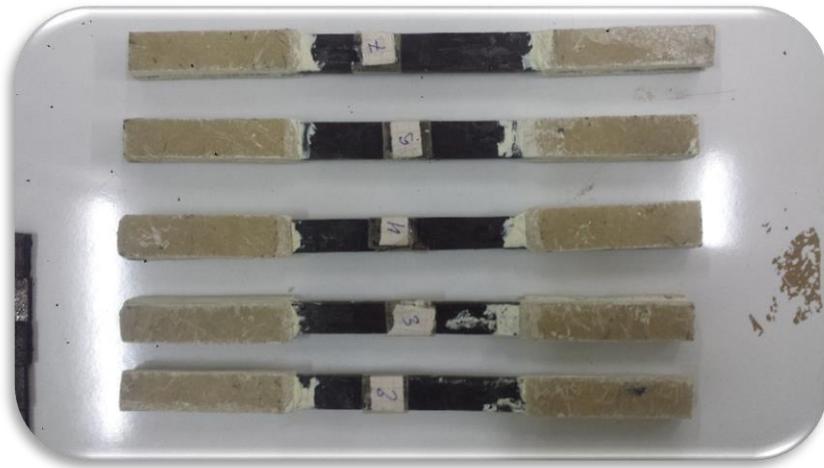


الشكل (9.3): عينة التوتر

بعد ان تجف المادة المركبة التي تأخذ شكل صفيحة نقوم بتقطيعها الى عينات متساوية العرض مستخدمين في ذلك نوعان من آلة القطع لموضحة في الشكل الا ان لم تقطع بالشكل المثالي نتيجة لأخطاء القياس في عملية القص. الشكل (9.3) والشكل (10.3)



الشكل (10.3): آلات القطع المستعملة

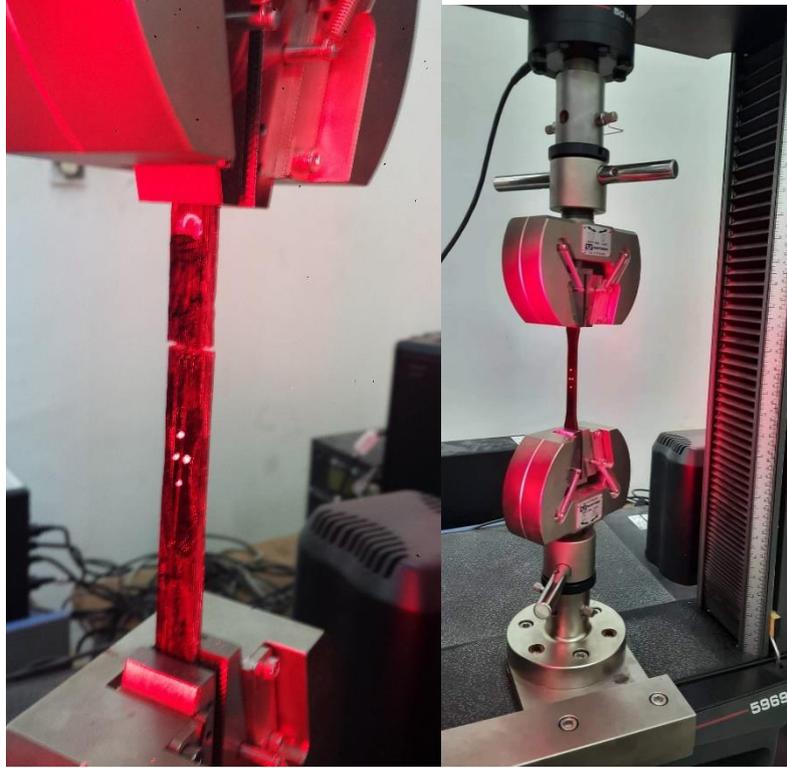


الشكل (11.3): العينة بعد القص

4.3. القيام بتجربة الشد

بعد قص الصحيفة الى عينات نقوم بإجراء عملية الشد باستعمال آلة الشد INSTRON 5969 ذات قوة قصوى 5 كيلو نيوتن. نقوم بإدخال سرعة ثابتة 2 ملم /الدقيقة للآلة بحيث الممسك السفلي يكون في حالة سكون والممسك العلوي يتحرك.

تكون آلة تجربة الشد موصولة بحاسوب بغرض اظهار النتائج عن طريق برنامج Bluehill 3 بحيث يقوم بتخزين ومعالجة البيانات حيث قمنا باختبار 5 عينات. الشكل(11.3).



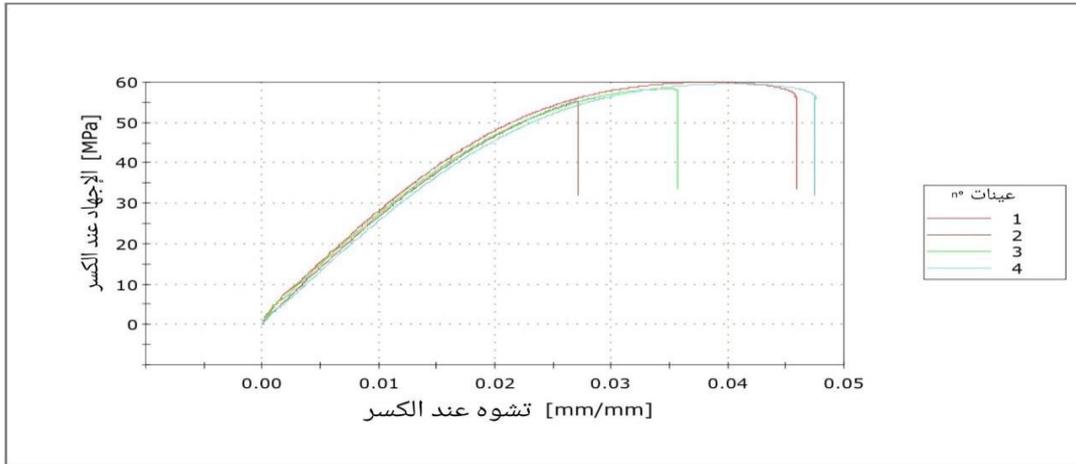
الشكل(12.3):آلة تجربة الشد INSTRON5969 أعطت اختبارات الشد التي أجريت على العينات كسرا على الأغلب في المجال او المنطقة الفعالة.



شكل (13.3): عينات شد بعد الكسر.

الراتنج

بعد القيام بتجربة تكمن من ترجمة النتائج على شكل منحنيات (الإجهاد بدلالة التشوه) المبينة في الشكل اسفله.



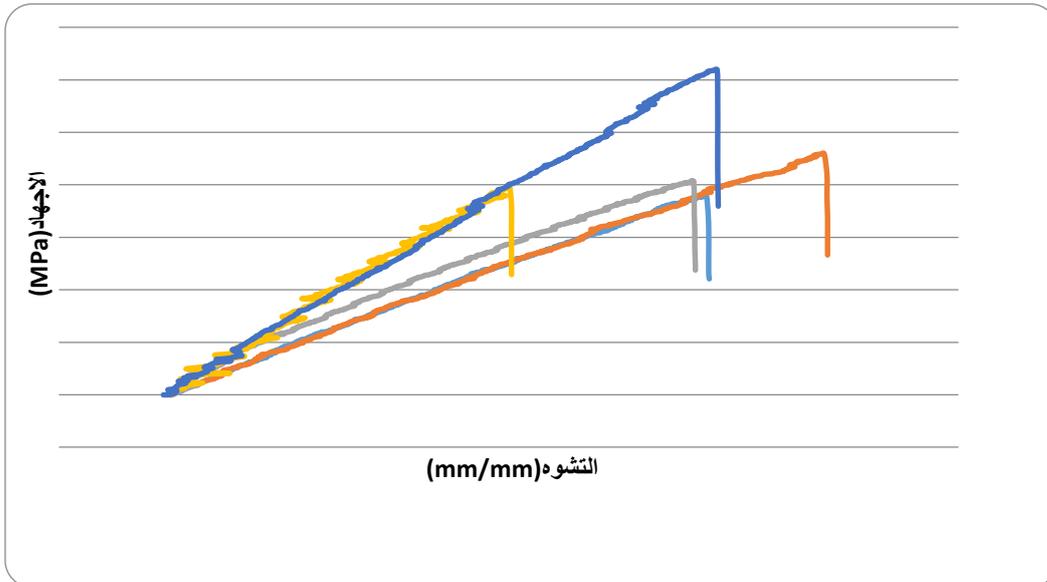
الشكل (14.3): يمثل منحنى بياني لتجربة الشد للراتنج

يظهر (الشكل 12.3) اختبار الشد لمادة راتنج الغير مقواة بالالياف، نلاحظ أن المنحنيات 4 التي تحصلنا عليها لها نفس القراءة. ومقسمة إلى مرحلتين:
 - المرحلة الأولى من القيمة 0 الى 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 الى 55 ميكا بسكال تقريبا، وهي المرحلة البلاستيكية الغير خطية حيث في القيمة 55 ميكا بسكال تمت عملية الكسر للعينات.

ب-المادة المركبة



الشكل (15.3): منحنى بياني لتجربة الشد للمادة المركبة

ويظهر (الشكل 13.3) للمادة المركبة المقواة بالالياف طولية بعد اختبار الشد. نلاحظ أن المنحنيات 5 لها نفس القراءة ومقسمة إلى مرحلتين:

- المرحلة الأولى من 0 إلى 5 ميكا باسكال تقريبا لأغلب المنحنيات، وهي مرحلة المرونة حيث نحسب فيها معامل المرونة E ، يحسب بنفس الطريقة السابقة.
- المرحلة الثانية من القيمة 5 ميكا باسكال إلى نقطة الكسر، وهي المرحلة البلاستيكية الغير خطية، حيث لاحظنا اختلافات طفيفة في قيم الإجهاد والتشوه، حيث القيمة بين 17 و32 ميكا باسكال تحدث عملية الكسر للعينات.

تلخص الجداول التالية (2.3) و(3.3) نتائج إختبار الشد، للعيونة راتنج لوحده وعينة المادة المركبة المدروسة:

الجدول (2.3): يبين نتائج تجربة الشد لمادة الراتنج

معامل يونغ (MPa)	الاجهاد عند الكسر σ_r (MPa)	التشوه عند الكسر ϵ_r (%)	مساحة المقطع (mm ²)	رقم العينة
2717.18848	56.17289	0.04588	42,57	1
2732.14081	55.34724	0.02709	49,4	2
2700.19909	58.14536	0.03566	43,87	3
2557.48402	55.81316	0.04752	46,15	4
82.38397	1.23110	0.00954	2,99	الانحراف المعياري
2679.25310	56.36966	0.02709	45,49	المتوسط

الجدول (3.3): يبين نتائج تجربة الشد للمادة المركبة

معامل يونغ (MPa)	الاجهاد عند الكسر σ_r (MPa)	التشوه عند الكسر ϵ_r (%)	مساحة المقطع (mm ²)	رقم العينة
2 138,24999	18,95189	0,00946	78,36	1
2 198,91957	22,96139	0,01148	78,68	2
3 114,77208	20,16177	0,00925	95,55	3
3 116,79206	18,07386	0,00605	79,18	4
3 483,17982	30,93651	0,00964	46,15	5
579,57438	7,89079	0,00414	17,99	الانحراف المعياري
2 725,78814	19,61780	0,00765	75,58	المتوسط

الفصل 4:

التحليل الميكانيكي لمادة صفائحية ثنائية الاتجاه

الفصل 4: التحليل الميكانيكي لمادة صفائحية ثنائية الاتجاه

المقدمة

في هذا الفصل قمنا بدراسة تحليلية وعددية لمادة مركبة صفائحية ثنائية الاتجاهات، مكونة من مادة راتنج اليبوكسي مقواة بألياف طويلة من ألياف نخيل التمر. معتمدين في ذلك على قوانين التجانس حيث اخترنا في هذه الدراسة نموذج موري تنكا. وكذا العلاقات العددية لحساب الخصائص الميكانيكية للمواد المركبة الصفائحية.

1.4. المواد المستعملة

المواد المستعملة في تشكيل المادة المركبة التي طرحناها في عملنا هي عبارة عن مادة إيبوكسي مقواة بالألياف نباتية ثنائية الاتجاه. الخصائص لميكانيكية لمكونات هذه المادة هي:

- خصائص مادة اليبوكسي:

$$E_m = 2.68 \text{ GPa} , \quad \nu_m = 0.4$$

هذه القيم تحصلنا عليها من تجارب الشد بتقنية الفيديو.

- خصائص ألياف نخيل التمر:

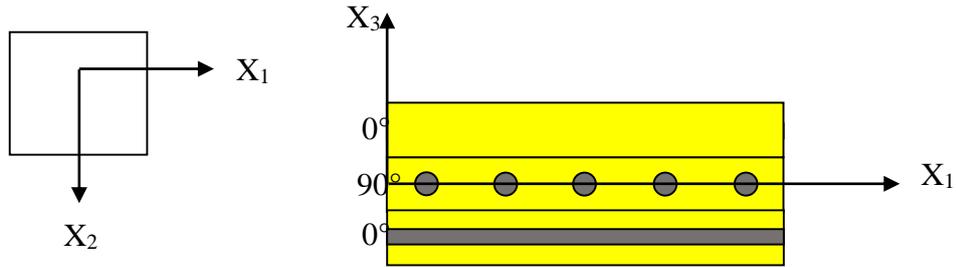
$$E_f = 17.93 \text{ GPa} , \quad \nu_f = 0.12$$

هذه القيم تحصلنا عليها من أطروحة الدكتوراه للباحث جودي طارق، حيث هذه القيم هي خصائص ميكانيكية للألياف جريد نخيل التمر. الألياف ذو مقطع دائري قطره 0.25 ملم. أما نسبة هذه الألياف المادة المركبة المدروسة هو:

$$V_f = 1.5$$

2.4. المادة المدروسة

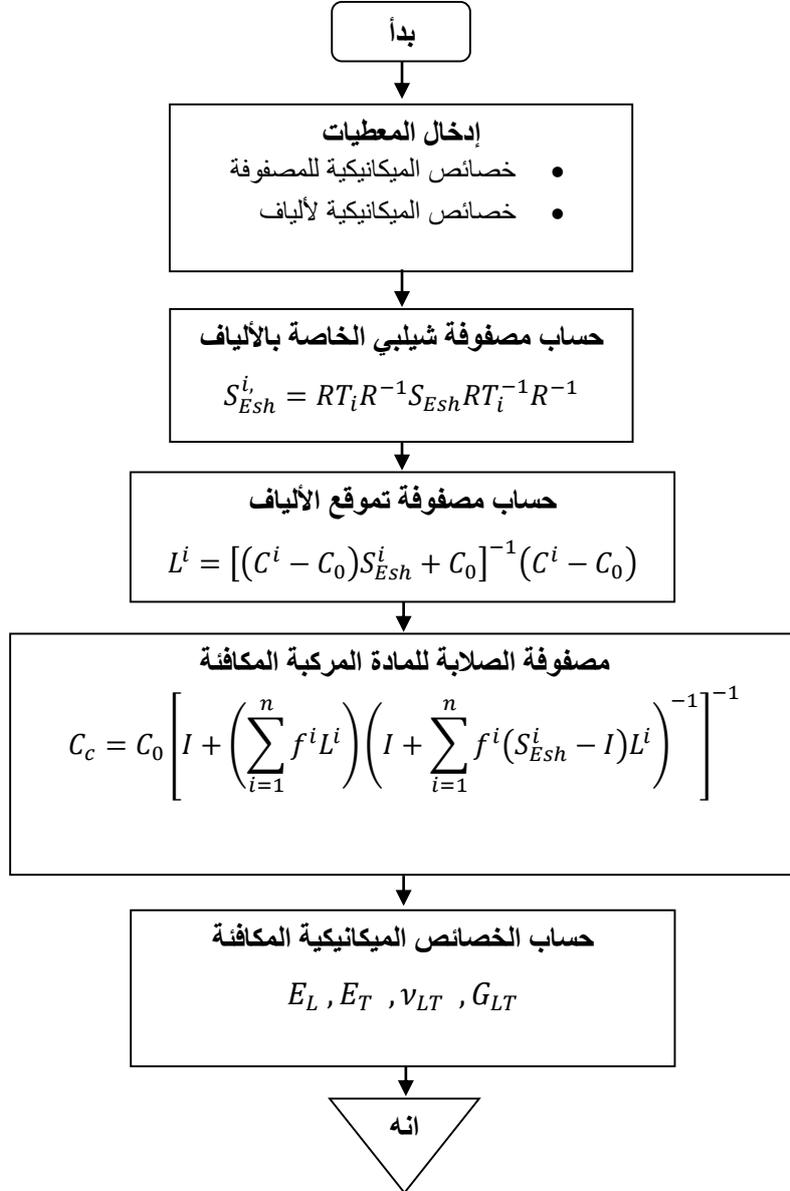
المادة المدروسة في هذا العمل هي مادة مركبة حيوية صفائحية مشكلة من ثلاثة طبقات ثنائية الاتجاه سمك كل طبقة 2.15 ملم. وألياف طويلة من ألياف نخيل التمر (الجريد). الاتجاهات المعتمدة في هذه الدراسة هي $[0^\circ \ 90^\circ \ 0^\circ]$ أنظر الشكل (1.3).



الشكل (1.4): رسم تخطيطي للمادة المدروسة

3.4. الخصائص الميكانيكية المكافئة لطبقة واحدة

قمنا بحساب الخصائص الميكانيكية المكافئة $(E_L, E_T, \nu_{LT}, G_{LT})$ لطبقة واحدة من هذا المركب الصفائحي باستخدام علاقات نموذج التجانس لموري تنكا و التي شرحت في الفصل الثاني، و لتسريع الحسابات قمنا بإعداد برنامج لهذه الدراسة في الماتلاب.



الشكل (2.4): خوارزمية تقنية التجانس

مصفوفة الصلابة المتحصل عليها C_c :

7.6416	3.7231	3.7231	0	0	0
3.7231	6.4359	4.0671	0	0	0
3.7231	4.0671	6.4359	0	0	0
0	0	0	1.3313	0	0
0	0	0	0	1.3693	0
0	0	0	0	0	1.3693

• مصفوفة المرونة S_c :

0.1999	-0.0709	-0.0709	0	0	0
-0.0709	0.2838	-0.1383	0	0	0
-0.0709	-0.1383	0.2838	0	0	0
0	0	0	0.7512	0	0
0	0	0	0	0.7303	0
0	0	0	0	0	0.7303

• الخصائص الميكانيكية المكافئة لطبقة واحدة من المادة المركبة

E_L	E_T	ν_{LT}	G_{LT}
$\frac{1}{S_{11}}$	$\frac{1}{S_{22}}$	$-\frac{S_{12}}{S_{11}}$	C_{66}
5.0021	3.5236	0.3545	1.3693

4.4. الخصائص الميكانيكية المكافئة للمادة المركبة الصفائحية

انطلاقاً من الخصائص الميكانيكية المكافئة لطبقة واحدة نقوم بحساب الخصائص المكافئة للمادة المركبة الصفائحية متبعين الخطوات التالية:

• أولاً نقوم بحساب مصفوفة الصلابة المخفضة Q لطبقة واحدة من المركب، حيث نضع الاتجاه الرئيسي للحسابات هو اتجاه الألياف بزواوية 0° .

تعطى مصفوفة الصلابة المخفضة Q_0 في اتجاه الزاوية المرجعية 0° على الشكل التالي:

Q_{11}	Q_{12}	0
Q_{12}	Q_{22}	0
0	0	Q_{66}

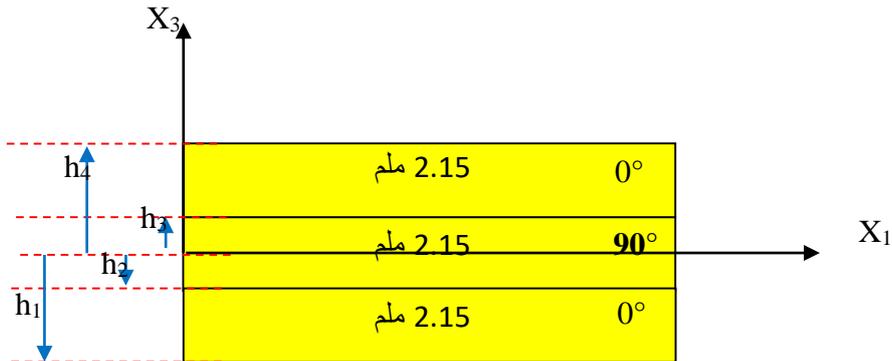
حيث تحسب مركبات هذه المصفوفة كما يلي:

Q_{11}	Q_{22}	Q_{12}	Q_{66}
$\frac{E_L}{\left(1 - \frac{E_T}{E_L} \nu_{LT}^2\right)}$	$\frac{E_T}{E_L} Q_{11}$	$\nu_{LT} Q_{22}$	G_{LT}

اما بالنسبة لمصفوفة الصلابة المخفضة في اتجاه 90° تحسب عن طريق ضرب المصفوفة المرجعية في مصفوفة تغيير الأساس T المعطاة كالتالي:

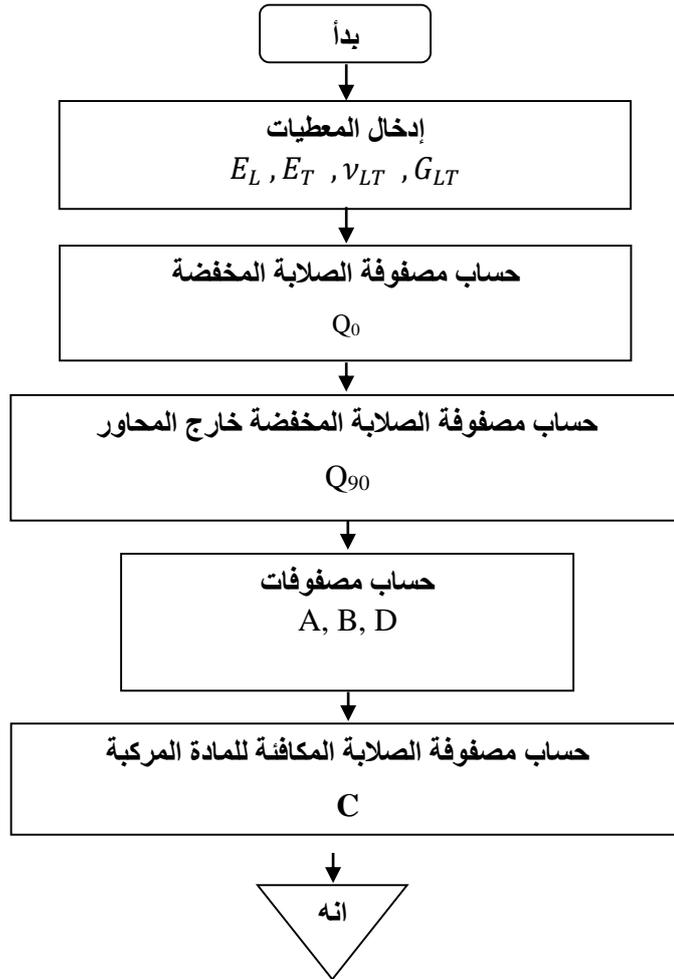
$$[T] = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & 0 & 0 & 0 & 2 \sin \theta \cos \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & 0 & 0 & 0 & -2 \sin \theta \cos \theta \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ -2 \sin \theta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

- ثانياً نقوم بحساب مركبات مصفوفة الصلابة للمادة المركبة انطلاقاً من حساب مركبات للمصفوفات A، B و D و التي شرحت في الفصل الثاني.
- ثالثاً ابعاد العينة المدروسة



الشكل (3.4): ابعاد عينة المادة المركبة الصفائحية

- رابعا قمنا بإعداد برنامج في ماتلاب يقوم بدوره تسريع جميع الحسابات.



الشكل (4.4): خوارزمية حساب مصفوفة الصلابة للمادة المدروسة

- خامسا النتائج:

1. قيم مركبات المصفوفة المخفضة Q_0 لطبقة واحدة من المركب في الاتجاه الرئيسي 0° .

5.4878	1.3704	0
1.3704	3.8658	0
0	0	1.3693

2. قيم مركبات المصفوفة المخفضة Q_{90} لطبقة واحدة من المركب في الاتجاه 90° .

3.8658	1.3704	0
1.3704	5.4878	0
0	0	1.3693

3. قيم مركبات مصفوفة الصلابة للمادة المركبة الصفائحية C:

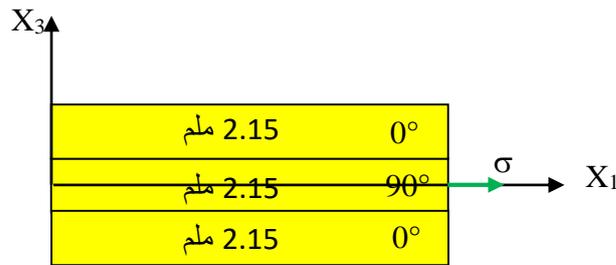
0.0371	0.0107	0	0	0	0
0.0107	0.0358	0	0	0	0
0	0	0.0107	0	0	0
0	0	0	0.0704	0.0181	0
0	0	0	0.0181	0.0529	0
0	0	0	0	0	0.0181

4. قيم مركبات مصفوفة المرونة للمادة المركبة الصفائحية S:

29.4642	8.7897-	0	0	0	0
8.7897-	30.5313	0	0	0	0
0	0	93.6262	0	0	0
0	0	0	15.5668	- 5.3166	0
0	0	0	- 5.3166	20.7225	0
0	0	0	0	0	55.4001

- سادسا لمقارنة النتائج التجريبية مع نتائج العددية قمنا بتعريض العينة لإجهاد قدره $\sigma_x = 0.48107 MPa$ حيث هذا الإجهاد أخذ من قيم الاجهادات في طور المرونة وفي الاتجاه X_1 . بعدها قمنا بحساب التشوه بالعلاقة التالية:

$$\{\epsilon\} = [S].\{\sigma\}$$



الشكل (5.4): تجربة الشد للمادة المركبة الصفائحية

فوجدنا قيمة التشوه تساوي: $\epsilon_x = 0.0142$ اما بالنسبة لتشوه التجريبي لنفس الاجهاد هو: $\epsilon_x = 0.0002$. نلاحظ من القيمتين أن المجال متباعد نوع ما بين القيمتين وهذا راجع أن القيم التجريبية لم نتحكم جيدا في استقامة الألياف التعزيز أي أن هناك نسبة خطأ في زوايا التوجيه الألياف التعزيز.

الخاتمة العامة

إن المواد مركبة المقواة بالألياف النباتية تتواجد بشكل متزايد في التطبيقات الصناعية وتزايد استخداماتها يوماً بعد يوم. الأسباب الرئيسية هي توافر مجموعة واسعة من الألياف النباتية واحترامها للبيئة وقابلية إعادة التدوير عند الدمج مع البوليمرات المناسبة. يعد دمج الألياف النباتية في مواد اللدائن الحرارية أو المواد المصلدة بالحرارة لتحل محل الألياف الزجاجية مفهوماً بدأ في التصنيع والتسويق. المواد المركبة المقواة بالألياف النباتية تجد لها تطبيقات في تصنيع الديكورات الداخلية للعديد من العلامات التجارية للسيارات والقوارب الصغيرة وحتى في الأعمال الخشبية والإنشاءات في الهندسة المدنية أو في الهياكل الثانوية لمختلف التطبيقات التي تستجيب للقلق بشأن الحفاظ على البيئة. الهدف من هذا العمل هو معرفة ما إذا كانت الألياف نخيل التمر الطولية تستعمل كتعزيز جيد للراتنج المستخدم ورفع الاجهادات في اتجاه محدد، النتائج المتحصل عليها مقبولة نسبياً. سمح لنا هذا العمل بتحديد النقاط التالية:

معلومات نظرية وتطبيقية عن المواد المركبة الحيوية وتصنيعها واستخدامها في المجال الصناعة الميكانيكية. كما كشف الفحص الماكروسكوبي للصفائح المصبوبة باللمس عن عيوب تتعلق بعملية القولبة:

- ظهور فقاعات الهواء في الصفائح المصنعة
- طفو بعض الألياف نتيجة صب الراتنج عليها بسبب خفة وزنها
- صعوبة استقامة الألياف طولياً الذي يرجع إلى عدم تثبيت الألياف بالشكل الصحيح في قالب التصنيع
- وجود تباين في سمك أجزاء من الصفحة

كما مكننا هذا العمل التجريبي والتحليلي من الحصول على:

(1) إن الألياف الطولية المستخلصة من ألياف نخيل التمر أعطت نتائج مقبولة نسبياً في رفع من الخصائص الميكانيكية للمادة المركبة الحيوية وهذا بعد المقارنة بين النتائج الخاصة بالراتنج ونتائج المادة المركبة استنتجنا تحسناً في معامل يونغ بالإضافة إلى زيادة مقاومة المادة.

(2) النتائج التحليلية لهذه المادة المركبة لم تكن مطابقة للنتائج التجريبية وذلك راجع إلى سبب عدم تثبيت الألياف وعدم استقامتها جيداً.

قائمة المراجع

- [1]<https://valbiomag.labiomasseenwallonie.be/news/biocomposites-un-marche-en-developpement>
- [2]<https://ebrary.net/191198/engineering/biocomposites>
- [3]https://www.marefa.org/ألياف_simplified
- [4]<https://www.pandasilk.com/ar/different-types-of-fibers/>
- [5]Djebbloun. Y. *Contribution à la caractérisation des matériaux composites renforcés de fibres végétales*. Thèse doctorat. Université de Biskra. (2018).
- [6]<https://ar.public-welfare.com/4161685-natural-resin-types-properties-application>
- [7]Berthelot, J. M., & Ling, F. F. (1999). *Composite materials: mechanical behavior and structural analysis* (Vol. 435). New York: Springer.
- [8]Maric, G. (2014). Materijali II, Retrieved from <http://documents.tips/.documents/kompozitipdf.html>, pristupljeno 12.04.2016.god
- [9]Rujnić, M., Šercer, M., & Bujanić, B. (2004). Utjecaj recikliranja mehaničkasvojevstvarno-plastomernogakompozita, *Polimeri*, 25(1-2), 12-19
- [10]Fiore V, Valenza A, Di Bella G. *Compos. Sci. Technol.* 2011, 71,
- [11]<https://www.kachaf.com/wiki.php?n=5ed88e4a67717625af0d1fe2>
- [12]1998. روبرت م. جونز. ميكانيكاالموادالمركبة.
- [13]Bunsell, A. R., Joannès, S., & Thionnet, A. (2021). *Fundamentals of fibre reinforced composite materials*. CRC Press.
- [14] J. L. BERTHELOT, *Matériaux composites (comportement mécanique et analyse de structure)*, Paris 1999.
- [15] BERIBECHE. A, *Analyse par la méthode des éléments finis du délaminage des matériaux composites stratifiés*. Thèse de magister, Université de Batna 2002.

المخلص

تعتبر دراسة الخصائص الميكانيكية للمواد المركبة الدراسة الأهم مقارنة بالدراسات الأخرى بغرض صناعة القطع والتجهيزات الصناعية المختلفة. المركب المستعمل في دراستنا هو عبارة عن راتنج ايبوكسي معزز بألياف طويلة أحادية وثنائية الاتجاه من ورق نخيل التمر.

الهدف من الدراسة معرفة ما إذا كانت هذه الألياف تشكل تعزيز جيد بالإضافة إلى تحسين معامل يونغ ومعامل اجهاد الشد حيث قمنا بالتجارب على خمس عينات.

كلمات مفتاحية:

ايبوكسي، اليف، تعزيز، معامل يونغ، الاجهادات.

ABSTRACT

The study of the mechanical properties of composite materials is the most important study compared to other studies for the purpose of manufacturing various industrial parts and equipment. The material used in our study is an epoxy resin reinforced with long, unidirectional and bidirectional fibers of date palm tree fibers.

The aim of the study is to find out if these fibers constitute a good reinforcement in addition to improving Young's modulus and tensile stress. We conducted experiments on five specimens.

Keywords:

epoxy, fibers, Strengthen, Young's modulus and tensile stress