تصنيع وتوصيف مواد مركبة من (الأيبوكسي- ألياف القنب) المقواة بدقائق السيليكا

م.لماح علي [1]
د.م.مصعب غانم [2]

الملخص

دُرس تأثير إضافة دقائق السيليكا (SiO_2) بنسب حجمية مختلفة(2-8%) إلى مادة مركبة من الإيبوكسي وألياف خيوط القنب، ولإنتاج مثل هذه المادة المركبة الصفائحية المقواة بألياف طبيعية فقد استخدمت طريقة استشراب الراتنج بمساعدة ضغط تفريغ، وأجريت الاختبارات الميكانيكية كمقاومة الشد، والقساوة ومقاومة الصدم لعينات محضرة من المادة المصنعة.

وقد أشارت النتائج إلى أن إضافة دقائق السيليكا إلى المادة المركبة يحسن بشكل كبير مقاومة الشد، والقساوة والصدم، وكذلك مقاومة التآكل للمواد المركبة الهجينة الناتجة.

وبينت النتائج أن المركبات المحملة بنسبة(6%) من دقائق السيليكا قد أعطى الخواص الميكانيكية الأفضل، وأن هذه الخواص قد أخذت بالتناقص عند تحميلها بنسب أعلى من السيليكا.

كلمات مفتاحية: مواد مركبة هجينة، تقوية بالدقائق، خواص ميكانيكية، تآكل، استشراب الراتنج بمساعدة ضغط تفريغ.

[1] ماجستير في علم المواد وهندستها- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائي-جامعة دمشق-سوريا.

[2] دكتوراه في علم المواد وهندستها- قسم هندسة التصميم الميكانيكي-مرفأ طرطوس-طرطوس -سوريا

Processing and Characterization of Jute–Epoxy Composites Reinforced with Silka particles (SiO_2)

[1]Eng. Lammah Ali
[2]Dr.Mosab Ghanem

Abstract

This study studies the potential of adding silicon oxide (SiO_2) particles at volume contents ranging between 2 and 8% to jute fabric-reinforced epoxy composite to produce such hybrid composites of natural fiber-reinforced laminates, the vacuum-assisted resin infusion method was applied inthis study to produce high quality laminates Samples were tested for their mechanical behavior through tensile,hardness and impact tests.

Results indicated that the addition of particles had a significant effect on the tensile, hardness, impact behavior of the composites under investigation. Hybrid composites reinforced with 6 vol.% SiO_2 exhibited acceptable mechanical properties. The behavior was found to deteriorate at (SiO_2) contents beyond 6 vol.%.

Keywords: hybrid composites, Particle-reinforcement, Mechanical properties, Erosion wear, Vacuum assisted resin infusion (VARI).

[1]Master Engineer, Department of Mechanical Design, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering.
[2]Doctor Engineer, Department of Mechanical Design, Material and Engneering science Syria.

1- المقدمة:

تستخدم تقنية إضافة الألياف الطبيعية على نطاقٍ واسع في تقوية المواد المركبة التي أساسها البوليمير، ومن أهم محاسن استخدام هذه الألياف الحصول عليها من مصدر متجدد وبسعر منخفض، إضافة لكثافتها المنخفضة، وخواصها الميكانيكية والفيزيائية المميزة، وتستخدم في تطبيقات واسعة كقطاع الإنشاءات، والأثاث المنزلي، والمنتجات الرياضية، والهياكل الخارجية لوسائل النقل[1].

تستهدف الدراسات الحالية تحسين أداء المواد المركبة المقواة بالألياف الطبيعية في تطبيقات إنشائية باستخدام أنسجة مستمرة مغزولة من تلك الألياف مع قالب مصنع من مادة متصلبة حرارياً وتذهب الأبحاث الحالية باتجاه تطوير مواد مركبة هجينة تجمع بين الألياف الطبيعية والألياف الصناعية كألياف الكربون والزجاج والأراميد ضمن قالب متصلب حرارياً كالبولي أميد أو الإيبوكسي لجمع الخصائص المرغوبة لنوعي الألياف، وهي تتميز بمقاومتها الميكانيكية المرتفعة وخفة الوزن، وسهولة التصنيع [2].

تعتبر ألياف القنّب من أهم الألياف الطبيعية المستخدمة في مجال المواد المركبة، ويستخدم جنباً إلى جنب مع مواد تقوية صناعية حبيبية أو بشكل ألياف لتقوية النسيج البوليميري المتصلب حرارياً[3].

وقد درس عدد من الباحثين تطوير مواد مركبة مكونة من طورين: طور أساس من بوليمير متصلب حرارياً، وطور تقوية مكون من ألياف أو دقائق سيراميكية مشتتة ضمن الطور الأساسي، فقد قام الباحث(Subhendu) بتقييم الخواص الميكانيكية والحرارية وكذلك امتصاصية الماء لمادة مركبة من نسيج خيوط القنب المقواة بإضافة نسب مختلفة من مادة التعبئة من مزيج السيلكيا والألومينا معروف بالسنوسفير (Cenosphere)حيث تبين انخفاض مقاومة الشد بحوالي بحوالي(7.5%) بعد إضافة (5%) من مادة التعبئة بينما ازدادت مقاومة الانحناء بنسبة (20%)، بينما انخفضت مقاومة الصدم والقساوة مع ازدياد التحميل بمادة التعبئة[4].

كما درس الباحث [5](Ajith) الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لمادة مركبة مقواة بألياف القنب ذات طول ليف (5-6mm) واختار نوعين من الراتنجات كطور أساس هما الإيبوكسي والبولي إستر حيث كانت النسبة الوزنية للألياف (18%)، وقد بينت النتائج أن خواص المادة المركبة من الإيبوكسي والقنب أفضل من خواص المادة المركبة من البولي إستر وألياف القنب، حيث كانت مقاومة الشد (12MPa) و (8MPa) على التوالي، في حين كان صلابة المادة المركبة التي أساسها البولي أستر أعلى(3.25J) مقابل (2.65J)للمادة المركبة التي أساسها الإيبوكسي.

كما قام الباحث(Mauricio) [6]بتصنيع صفائح حيوية(biolaminates) من مادة مركبة من الإيبوكسي المقواة بألياف طبيعية باستخدام تقنية استشراب الراتنج بمساعدة ضغط تفريغ والتي تتميز بكثافة منخفضة، وقابلية التفكك الحيوي، وخفة الوزن، واستتخدمت ألياف طبيعية متنوعة كالأغلاف، والتامبيكو والقنّب، حيث تبين أن أعلى مقاومة شد أبدتها المادة المركبة المقواة بألياف القنب(45MPa) في مقابل (18MPa)للمادة المركبة بألياف الأغلاف في مقابل (13MPa)للمادة المركبة المقواة بألياف التامبيكو، كما بينت النتائج أن أعلى مقاومة للانحناء(7.5Gpa) كانت من نصيب المادة المركبة المقواة بألياف القنّب.

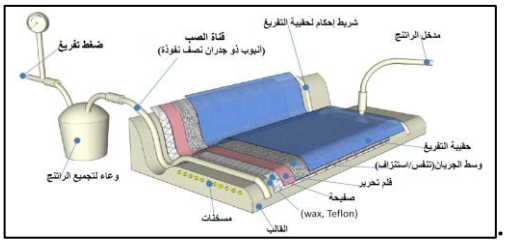
كما قام الباحث(Agwa)[7] بتصنيع مادة مركبة بوليميرية طبقية باستخدام طريقة استشراب الراتنج، بحيث تميزت المادة المصنعة بكلفة منخفضة، وخلوها من الفراغات والعيوب، وإمكانية تصنيع أشكال معقدة، وقد

بينت نتائج الدراسة أن الخواص الميكانيكية للمادة المركبة المصنعة بهذه الطريقة والمكونة من الإيبوكسي كمادة أساس ومن ألياف القنب المنسوجة كطور تقوية، والمدعمة كذلك بدقائق أوكسيد التيتانيوم كطور منتشر أفضل من خواص المادة المركبة المصنعة بطريقة التكديس اليدوي.

2–تصنيع المواد المركبة بمساعدة ضغط تفريغ (Vacuum Processes):

هناك عدد من عمليات التصنيع التي تجري بمساعدة ضغط النفريغ مثل القولبة الانتقالية للراتنج بمساعدة ضغط التفريغ، والقولبة بالاستشراب، حيث يتم تخضيب العينة (قطعة العمل) باستخدام الضغط الجوي فيتم وضع القطعة في مكان محكم الإغلاق ثم يتم تفريغ الهواء باستخدام مضخة تفريغ.

يتم استخدام قالب له شكل المنتج المراد تصنيعه، يتم بداية تطبيق طبقة تحرير تسمح بإزالة المنتج من القالب بسهولة بعد عملية المعالجة(تصلب المادة المركبة)، إذ تعتبر معظم الراتنجات المستخدمة عالية الالتصاق ومن ثم يتم بناء الطبقات وفقاً للمواصفات المطلوبة[8]، وفي حال استخدام القالب من جانب واحد يتم استخدام طبقة تقشيرأو ما يسمى فلم تحريروهو عبارة عن طبقة تحرير تضمن الحصول على إنهاء جيد للسطح (خشونة منخفضة)، أحيانا تستخدم نسيج من القماش أو الشاش يعرف بنسيج الاستنشاق/استنزاف يوضع فوق جزء من المنتج ويضمن تدفق الراتنج عبر المنتج قبل تصلبه، ومن ثم يتم إحاطة جميع الطبقات المتكدسة بفلم التفريغ، حيث يتم لصقه حول المنتج على القالب باستخدام شريط إحكام يشكل حقيبة تفريغ لزجة وقابلة للتدليك تسمى الشريط اللزج الالتصاق، وهذا الشريط لا يطبّق على طبقة التحرير، وبشكل عام لا يتم شد الفلم على القالب بشكل كبير، بل يترك مجعداً بشكل بسيط ليمكنه الاستجابة للتشوهات التي تحدث خلال عملية التصنيع كما هو موضح بالشكل(1)



الشكل(1) تصنيع المادة المركبة الصفائحية بطريقة استشراب الراتنج بمساعدة ضغط تفريغ[8]

ومن ثم يتم تطبيق ضغط التفريغ من عدة نقاط في أحد الجوانب بحيث يتم سحب(امتصاص) الراتنج إلى داخل القالب، ويتم تزويد نظام التفريغ بمقياس للضغط لمنع التدفق الزائد للراتنج، كما يتم وضع وعاء (مصيدة الراتنج) في جانب التفريغ.

3– المواد والطرائق المستخدمة:

3–1– المواد المستخدمة:

أ– ألياف القنّب وتتمتع بالمواصفات التالية:

1– الكثافة: ($1.32\ g/cm^3$)، وقطر الليف($0.8\ mm$).

3– عامل التعبئة كثافة الدرزات في النسيج المحاك من الخيوط(70%) ويتألف النسيج من الألياف المحاكة (5 درزات في السنتمتر)، ويوضح الشكل(2) ألياف القنب المستخدمة والطبقة النسيجية المحاكة منها.

وقد تم الحصول على راتنج الإيبوكسي من شركة (AXSON) من النوع (EPOLAM 5015) مع مصلب مناسب.

الشكل(2) ألياف القنب الخام والطبقة النسيجية المحاكة منها

ويوضح الجدول(1) مواصفات الإيبوكسي والمصلب المستخدم:

الجدول(1) مواصفات الإيبوكسي والمصلب

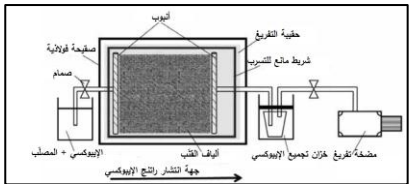
المواصفات	راتنج الإيبوكسي EPOLAM 5015	المصلّب (عامل التشابك) (EPOLAM 5014)
النسبة الوزنية للمزج	100	30
الكثافة(g/cm^3)	1.1	0.9
كثافة المادة بعد المزج والتصلب الحراري (g/cm^3)	1.13	
مقاومة الشد MPa	80	
الاستطالة عند القطع (%)	10	

3-2-تحضير المادة المركبة باستخدام تقانة تشريب الألياف بالراتنج بمساعدة ضغط التفريغ The Vacuum Assisted Resin Infusion(VARI):

صُنّعت ألواح المادة المركبة باستخدام تقنية استشراب الراتنج بمساعدة ضغط التفريغ(التخلية)(VARI)، الموضحة بالشكل(3) باستخدام ضغط تفريغ (100KPa)، باستخدام مضخة التفريغ من النوع (Vamobile SVM2S) حيث يتم وضع ثلاث طبقات من نسيج القنب (JF-250) توضع على سطح القالب فوق جلّ التحرير من الفازولين، بحيث يتم إحكام إغلاق حقيبة التفريغ، يتم إضافة دقائق السيليكا بتركيز وزني من (0-8%) إلى الوعاء الذي يحوي راتنج الإيبوكسي والمصلّب ويتم المزج الجيد بشكل يدوي لمدة ربع ساعة، ومن ثم يتم تشغيل مضخة التفريغ بحيث ينتشر خليط الراتنج ضمن الحقيبة بحيث يتم استشرابه من قبل الطبقات النسيجية، وعندما يتم إشباع الطبقات بالراتنج يتم إيقاف المضخة، ويترك الراتنج لمدة 24 ساعة ليتصلب بشكل كامل، بعد ذلك يتم فتح الحقيبة ونزع شريط التحرير، ويتم الحصول على ألواح المادة المركبة.

الشكل(3) يوضح حقيبة تفريغ الراتنج واستشرابه من قبل الطبقات الليفية

يوضح الشكل(4) طريقة تصنيع المادة المركبة من خلال استشراب الراتنج بمساعدة حقيبة تفريغ(تخلية):



الشكل(4) شكل تخطيطي يوضح طريقة تصنيع المادة المركبة بطريقة استشراب الراتنج بمساعدة حقيبة تفريغ[8]

يهدف هذا العمل لتحسين الخواص الميكانيكية ومقاومة التآكل للمواد المركبة المصنعة من الإيبوكسي

كمادة حاضنة(مادة أساس) مقواة بألياف القنّب ودقائق السيليكا(SiO_2)، ويتم إضافة دقائق السيليكا إلى الراتنج بحيث يتم تشريب النسيج المصنع من ألياف القنب باستخدام ضغط التفريغ.

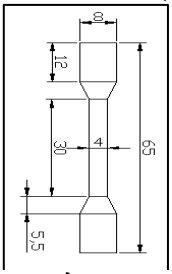
3–3– دراسة الخواص الميكانيكية:

3–3–1– مقاومة الشد:

لتحديد مدى تجانس المادة المركبة تم قياس الكثافة في نقاط مختلفة من اللوح المحضر وفقاً للمواصفة القياسية (ASTM D 792–86) باستخدام الميزان الإلكتروني (Mettler electronic balance) ذو دقة ± $0.0001g/cm^3$

كما تم قياس مقاومة الشد وفقاً للمواصفة القياسية العالمية (ASTM D 638-98)باستخدام آلة الشد متعددة الأغراض الموضحة بالشكل(5) حيث سرعة الشد (5mm/min)بينما يوضح الشكل (6) أبعاد نماذج عينات الشد المستخدمة.

الشكل (5)جهاز اختبار الشد وعينة الشد



الشكل (6)نموذج اختبار الشد

بينما تم تحديد المتانة باستخدام آلة اختبار الصدم إيزود ذات المطرقة التي تعمل كنواس ثقلي مركب وفقاً للمواصفة القياسية العالمية (ASTM-D256).

3–3–2– اختبار القساوة(Hardness Test):

أجري اختبار الشد (Shore D)وفقاً للمواصفة القياسية العالمية(DIN-53505) عند درجة حرارة الغرفة 25c،وذلك باستعمال جهاز (Digital Shore Hardness Tester) الموضح بالشكل(7)، ونموذج الاختبار عينة أبعادها(40×40×6 mm).

الشكل (7) جهاز اختبار القساوة

4–النتائج والمناقشة:

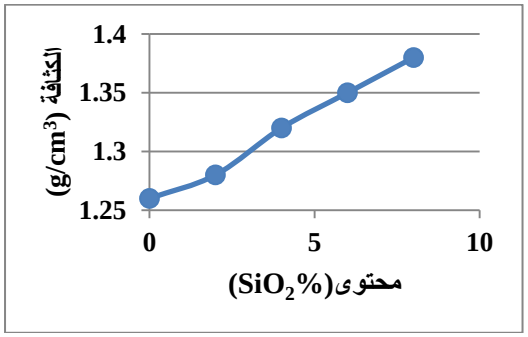
4–1– مقاومة الشد(Tensile Strength):

من المعروف أن الإيبوكسي يقوم بنقل الإجهاد المطبق وتوزيعه على ألياف القنب مما ينتج عنه مقاومة شد أعلى، وأما الانخفاض في مقاومة الشد بعد التحميل فيعزى إلى الترابط غير الملائم الذي ينتج عنه ارتباط ضعيف عند السطوح البينية لدقائق التقوية مع المادة الأساس، وإلى صعوبة في تحقيق تجانس توزع مادة التقوية، وبالتالي لا يمكن تحقيق التشتت المنتظم لمادة التقوية ضمن المادة الأساس، وهو ما ينتج عنه انخفاض في مقاومة الشد للمادة المركبة، ناتج عن تشتت جزيئات مادة التقوية كما يتضح من الشكل(8).

الشكل(8) مقاومة الشد للمادة المركبة عند نسبة إضافة مختلفة من دقائق السيليكا

4-2- الكثافة(Density) :

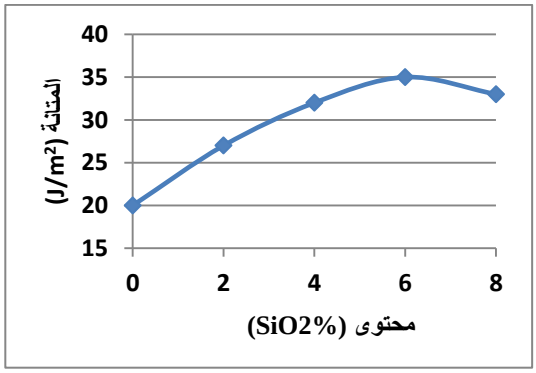
يتبين من خلال الشكل(9) ازدياد كثافة المادة المركبة مع زيادة نسبة مادة التقوية (SiO_2) ويرجع ذلك إلى أن دقائق التقوية (SiO_2) أكثف من بقية مكونات المادة المركبة، ويتبين من خلال الشكل أن الزيادة خطية تقريباً، ويلاحظ ازدياد كثافة المادة المركبة من ($1.26\text{-}1.38 g/cm^3$) مع زيادة محتوى المادة المركبة من مادة التقوية في المجال(0-8%).



الشكل(9)كثافة المادة المركبة عند نسب إضافة مختلفة من دقائق السيليكا

4-3- المتانة(Toughness):

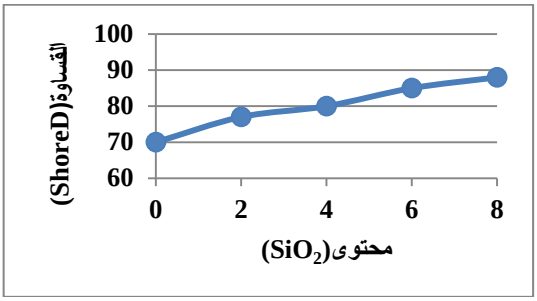
يوجد آليات مختلفة في المواد المركبة المقواة بأنواع من الدقائق، وهي تتأثر بحجم تلك الدقائق، وتركيزها ضمن المادة المركبة، ودرجة ارتباط الدقائق بالمادة الأساس، وقد عرضت نتائج ال للمادة المتانة للمادة المركبة المحملة بنسب مختلفة من دقائق السيليكا بالشكل(10)، حيث يتبين من خلال الشكل ازدياد المتانة مع زيادة نسبة إضافة السيليكا إلى (6%) وعند زيادة محتوى المادة المركبة من(SiO_2) فوق (6%) تتجمع هذه الدقائق وتتكتل على شكل عناقيد، مشكلة طوراً مستقلاً، وهو ما يضعف التفاعل والارتباط المتبادل بين مادة التقوية والنسيج الحاضن[9]، مما يؤدي لتناقص متانة المادة، ويساعد على نمو التشققات والتصدعات ضمن جسم المادة المركبة.



الشكل (10) مقاومة الصدم للمادة المركبة عند نسبة إضافة مختلفة من دقائق السيليكا

4-4-القساوة(Hardness):

يبين الشكل(11) نتائج القساوة بحسب (ShoreD) للمادة المركبة من الإيبوكسي وألياف القنب المقواة بدقائق السيليكا زيادة القساوة مع زيادة المحتوى من دقائق التقوية(SiO_2) والذي يشير إلى أن زيادة نسبة مادة التقوية ضمن نسيج الإيبوكسي يؤدي إلى تقييد حركة سلاسل الإيبوكسي البوليميرية، كما انه يؤدي إلى ضغط هذه السلاسل وارتصاصها بشكل أفضل، وهو ما يؤدي إلى زيادة في تقييد حركتها، وبالتالي يؤدي إلى زيادة مستمرة في قيمة القساوة.



الشكل(11) نتائج القساوة بحسب (ShoreD) للمادة المركبة عند نسبة إضافة مختلفة من دقائق السيليكا

التحليل الإحصائي:

المادة المركبة ، وبذلك تم استخدام التحليل البياني (one way annova) .

تستخدم نتائج الاختبارات الميكانيكية للمادة المركبة قبل وبعد تقويتها بالسيليكا في معرفة مدى المعنوية من عدمها من خلال القيمة(P-value):فإذا كانت أقل من (0.05)فهذا يشير إلى أن هناك فرق ذو دلالة إحصائية (معنوي) للتقوية بالسيليكا (SiO_2)، وكما يتضح من خلال جدول (Annova) فإن قيمةP هي أقل من 5%

أو من خلال مقارنة (F) المحسوبة بقيمة(F) الجدولية فإذا كانت قيمة(F) المحسوبةأكبر من قيمة(F) الجدولية فإن هناك فرق معنوي للتقوية بالسيليكا على مقاومة الشد. وكما هو واضح فإن F المحسوبة أكبر من قيمة F الجدولية($F\ C_{rit}$) حيث أن (7.7<521).

وبإجراء اختبار أقل فرق معنوي

(Least Significant Difference – LSD) :

$$LSD= t_{\alpha}\times\sqrt{\frac{2MSE}{n}} = 2.7764 \times \sqrt{\frac{2\times 7.195}{3}}= 6.08$$

يلاحظ أن الفرق بين المتوسطات(50=70-120) أكبر من قيمة (LSD) وبالتالي هناك فرق معنوي(ذو دلالة إحصائية) للتقوية بالسيليكا على مقاومة الشد.

ويمكن توضيح نتائج التحليل الإحصائي (Annova) باستخدام برنامج (Exel) وفق الخطوات التالية:

				ref	SiO2	
				70.3	123	
				71	116	
				68.7	121	
						Anova: Single Factor
						SUMMARY
		Variance	Average	Sum	Count	Groups
		13	120	360	3	SiO2
		1.39	70	210	3	ref
						ANOVA
F crit	P-value	F	MS	df	SS	rce of Variation
7.708647	2.18E-05	521.1953	3750	1	3750	Between Groups
			7.195	4	28.78	Within Groups
				5	3778.78	Total
					t Value	2.776445

ويلاحظ أن قيمة P-value للقساوة هي (0.00226)بينما أقل فرق معنوي (LSD):

$$LSD= t_{\alpha}\times\sqrt{\frac{2MSE}{n}} = 2.7764 \times \sqrt{\frac{2\times 7}{3}}= 5.99$$

يلاحظ أن الفرق بين المتوسطات(15=70-85) أكبر من قيمة (LSD) وبالتالي هناك فرق معنوي(ذو دلالة إحصائية) للتقوية بالسيليكا على متانة المادة المركبة المصنعة

وبإجراء تحليل إحصائي مماثل لخاصية المتانة يلاحظ أن قيمة P-value للمتانة هي (0.00226) بينما أقل فرق معنوي (LSD):

$$LSD= t_{\alpha}\times\sqrt{\frac{2MSE}{n}} = 2.7764 \times \sqrt{\frac{2\times 7}{3}}= 5.99$$

ويلاحظ أن الفرق بين المتوسطات(15=20-35) أكبر من قيمة (LSD) وبالتالي هناك فرق معنوي(ذو دلالة إحصائية) للتقوية بالسيليكا على متانة المادة المركبة.

5- النتائج والتوصيات:

5-1- النتائج:

1- تبين من خلال الدراسة زيادة كثافة المادة المركبة مع زيادة المحتوى من مادة التقوية.

2- الحصول على أعلى مقاومة شد (120MPa)عند نسبة تحميل(6vol%) بالدقائق (SiO_2).

3- زيادة متانة المادة المركبة الهجينة (مقاومتها للصدم) من (J/m^2 20) إلى ($35J/m^2$)مع زيادة التحميل بالدقائق (SiO_2) عند نسبة تحميل (6vol%).

4- تحسنت القساوة من (70ShoreD) إلى(88ShoreD)مع زيادة التحميل بدقائق التقوية إلى (8vol%).

5-2- التوصيات:

1- يوصى بدراسة التقوية بألياف طبيعية أخرى كألياف السيزال، أو الحرير، أو السيللوز.

2- دراسة التقوية بدقائق سيراميكية مثل الألومينا(Al_2O_3) أو كربيد السيليكون(SiC).

3- دراسة تأثير اتجاهات الألياف وطولها على تقوية المادة المركبة.

4-دراسة التقوية بألياف مختلفة النمر (قطر الخيط) ومقارنة النتائج.

جدول المصطلحات:

	رمز المصطلح	معنى المصطلح
1	thermosetting matrix	متصلبة حرارياً
2	Vacuum Processes	ضغط التفريغ
3	Infusion Moldings	القولبة بالاستشراب
4	atmospheric pressure	الضغط الجوي
5	excellent adhesives	عالية الالتصاق
6	tacky tape	شريط لزج التصاقي
7	vacuum film	فيلم التفريغ
8	bleeder/breather fabric	نسيج الاستشراب /الاستنزاف
9	release film	فيلم تحرير
10	(peel ply	طبقة التقشير
11	VARI	**تشريب الألياف بالراتنج بمساعدة ضغط التفريغ**
12	Tensile Strength	**مقاومة الشد**
13	Hardness Test	**اختبار القساوة**
14	Density	**الكثافة**
15	Hardness	**القساوة**
16	Toughness	**المتانة**
17	LSD	**أقل فرق معنوي**
18	Annova	**طريقة التحليل الاحصائي**

المراجع

[1]ALOK, S., ALOK, K, J., Processing and Characterization of Jute–Epoxy Composites Reinforced with SiC Derived from Rice Husk., Journal of REINFORCED PLASTICS AND COMPOSITES, Vol. 29, No. 18/2010.

[2] Ahmed Jadah ., Study Of Some Mechanical Properties For Epoxy/ SiO_2 Nano Particles Reinforced With 6 Layers Of CM E-Glass Fibers Composites J o u r n a l o f Advances in Physics., Vol 11, N 6 (March 2016).

[3] Priyadarshi Tapas Ranjan Swain., Physical and Mechanical Behavior of Al2O3 Filled Jute Fiber Reinforced Epoxy Composites International Journal of Current Engineering and Technology, Special Issue-2 (Feb 2014).

[4] Subhendu, Nath., Hemalata, Jena. Priyanka, Deepak ., Analysis of Mechanical Properties of Jute Epoxy Compositewith Cenosphere Filler, Siliconhttps://doi.org/10.1007/s12633-018-9941-xReceived: 9 August 2017 / Accepted: 26 June 2018© Springer Nature B.V. 2018.

[5] Ajith, G., Senthil, K., Elayaperumal, A., Experimental Investigations on Mechanical Properties Of Jute Fiber Reinforced Composites with Polyester and Epoxy Resin Matrices Procedia Engineering 97 (2014) 2052 – 2063.

[6] Mauricio, T., Victoria, R.,and Edgar. ., Mechanical Properties of Natural-Fiber-Reinforced Biobased Epoxy Resins Manufactured by Resin Infusion Process Polymers 2020, 12, 2841.

[7] Agwa,MA , Sherif, M., Soliman, S., Integrated vacuum assisted resin infusion and resin transfer molding technique for manufacturing of nano-filled glass fiber reinforced epoxy composite First Published June 17, 2020 Research Article https://doi.org/10.1177/1528083720932337.

[8] Noha Ramadan., ImanTaha., Behaviour of Hybrid SiC/Jute Epoxy Composites Manufactured by Vacuum Assisted Resin Infusion., Polymers & Polymer Composites, Vol. 25, No. 5, 2017.

[9] S. BehnamHosseini., SahabHedjazi ., LoyaJamalirad ., AlirezaSukhtesaraie., Effect of nano-SiO_2 on physical and mechanical properties of fiber reinforced Composites (FRCs) J Indian Acad Wood Sci (December 2014) 11(2):116–12.

Received	**2021/2/23**	**إيداع البحث**
Accepted for Publ.	**2021/5/19**	**قبول البحث للنشر**