مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٨)العدد (٨) ٢٠٢٤

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (8) 2024

تأثير الأسيتون على لزوجة البولي استر غير المشبع والخواص الميكانيكية لمركباته المحضرة بطريقة استشراب الراتنج بمساعدة حقيبة التفريغ

رؤيا نعمان *

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٣/١٠/٣١ . قُبِل للنشر في ٢٠٢٤/٧/١٨)

□ ملخّص □

تم في هذا البحث تصنيع مادة مركبة من البولي إستر غير المشبع (UPR) مسلحة بست طبقات من نسيج القنب ومحضرة بطريقة استشراب الراتنج بمساعدة حقيبة التفريغ (VRTM)، ودراسة تأثير إضافة النسب (0,2,5,10%) من الأسيتون على لزوجة وسلوك منحنيات التصلب للبولي إستر المستخدم، والتغيرات في الخواص الميكانيكية للمادة المركبة الناتجة.

بيّنت النتائج وجود تغير نسبي منخفض في قيم لزوجة (UPR) بدلالة نسبة الأسيتون بلغ (2.25%) عند أعلى نسبة إضافة، كما بينت منحنيات التصلب حدوث زيادة في زمن التجلتن وانخفاض قيم درجة الحرارة العظمى (T_{max}) بزيادة نسبة الأسيتون.

حسّنت إضافة الأسيتون بالنسبة الوزنية (2%) خلال تحضير المادة المركبة بطريقة (VRTM) من جودة سطوح العينات وأدت لزيادة قيمة مقاومة الشد بمقدار (5.7%) وقيمة القوة اللازمة للانحناء بمقدار (15.7%) مقارنةً بمثيلتها المحضرة من البولي استر النقي.

كلمات مفتاحية : بولي استر غير مشبع – أسيتون – اللزوجة – طريقة VRTM– خواص ميكانيكية.

دكتوراه في علم المواد – قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين- اللاذقية- سورية

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٨)العدد (٨) ٢٠٢٤

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (8) 2024

The effect of acetone on the viscosity of unsaturated polyester and the mechanical properties of its composites prepared by Vacuum Assisted Resin Transfer Molding method.

Roya Noman *

(Received 31/10/2023 . Accepted 18/7/2024)

□ ABSTRACT □

In this research, a composite of unsaturated polyester (UPR) reinforced with six layers of hemp fabric was prepared by Vacuum Assisted Resin Transfer Molding method (VRTM), and studying the effect of adding percentages (0, 2, 5, and 10%) of acetone on viscosity and curing curves behavior of the used polyester, and the changes in the mechanical properties of the resulting composite material.

The results showed a low relative change in the (UPR) viscosity values as a function of the acetone percentage, reaching to (2.25%) at the highest addition percentage. The curing curves showed an increase in the gelatinization time and a decrease in the maximum temperature (T_{max}) with an increase in the percentage of acetone.

Adding(2% acetone) while preparing the composite material by VRTM method improved the surface quality of the samples and caused an increase in the tensile strength value by (5.7%) and the strength required for bending by (15.7%) compared to those prepared from pure polyester.

Key words: unsaturated polyester, acetone ,viscosity, VRTM method ,mechanical properties.

* **PHD in Materials science; Designing and Production department; Faculty of Electrical & Mechanical Engineering; Tishreen University; Lattakia: Syria.**

١ – مقدمة :

تختلف لزوجة البولي إستر غير المشبع (UPR) ومجالات استخدامه من الصب المباشر في قوالب محضرة مسبقاً (Casting) إلى الإنتاج بطريقة الدهان اليدوي (Hand – lay up) أو الرش (Spry –up) اعتماداً على عدة عوامل نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر نسبة ونوع مادة التشبيك، والتي تستخدم عادةً بنسب تتراوح بين (30%) حتى (45%) لإعطاء (UPR) اللزوجة المطلوبة، إضافةً لمجمل المكونات التي تدخل في تركيب المادة الرابطة كمانعات التصلب أثناء التخزين والتي تعتبر مادة حافظة، والمواد الأخرى المضافة لأهداف تصنيعية (AURER *et al* ..,2003)

يشكّل التحكم بعملية تصلب (UPR) هدفاً أساسياً للعاملين في مجال البلاستيك المسلح ذو الأساس البوليميري (UPR)، لاسيما عند التصنيع بطريقة (VRTM) حيث يكون من الضروري تحقيق الملء الكامل للطبقات مع مراعاة الترطيب الجيد والمتجانس لكافة أطرافه.

يشير كل من (MANSOUR, 2001 ،MATUSKOVA *et al*.,2021 ،AZKI *et al*.,2010) إلى تأثر نشاط التفاعلات الحاصلة في جملة مزيج (UPR) باختلاف نسبة مواد الإضافة المستخدمة، إضافةً إلى امكانية تخفيف لزوجة البوليمر باستخدام مواد إضافة من النوع المذيب، والتي تهاجم سلاسل البوليمر، وتقلل قوى الارتباط بين جزيئاته الكبيرة، مسببةً بذلك تباعداً بين السلاسل وخلق فراغات جديدة ضمن البنية، ينتج عنه بالمحصلة زيادة في سيولة البوليمر وقدرته على ترطيب الألياف، كما تعمل على إطالة المجال الزمني الأول (المرحلة التحريضية) في منحنيات تصلب (UPR) مما يتيح الوقت لإجراء كافة العمليات المتعلقة بتحضير المزيج وملء القالب قبل بدء التصلب.

بيّن (COUSINS *et al* .,2018) إمكانية ضبط اللزوجة من خلال إضافة المونوميرات إلى البوليمر، إلا أنه أشار إلى وجود صعوبة في ضبط التفاعلات الحاصلة بين هذه المركبات عملياً. من جهة أخرى بيّن (THIRUNAVUKARASU *et al* .,2020) أن استخدام المواد المخففة للزوجة (diluent) مع الايبوكسي سبب زيادة في النسبة الحجمية لدقائق السيللوز ضمن المادة حتى (60%)، مع وجود تغير واضح في سلوك منحنيات (الإجهاد – انفعال) للبوليمر تبعاً لقيم اللزوجة (لزوجة منخفضة – لزوجة متوسطة – لزوجة عالية)، إذ ترافقت اللزوجة المنخفضة للبوليمر بزيادة ملحوظة في قيم الاستطالة عند التحطم.

بيّن (ANSARI *et al* .,2018) زيادة قدرة البولي إستر غير المشبع على ترطيب السيللوز (بشكل دقائق) عند مزج الدقائق مع الأسيتون. بينما تناولت دراسات أخرى (LOOS *et al* .,2008) امكانية إضافته بشكل مباشر إلى الايبوكسي بهدف تخفيف اللزوجة، حيث أدت الإضافة بنسبة (10%) إلى تناقص لزوجة الايبوكسي بنسبة (50%) ما أعطى توزع أفضل للدقائق، إلا أنّ هذه النسبة سببت انخفاضاً ملحوظاً في قيم كلٍ من معامل يونغ، مقاومة الشد، والاستطالة عند التحطم (Elongation at break).

٢- أهمية البحث وأهدافه:

تعد طريقة (VRTM) من الطرق الرائجة في صناعة شفرات العنفات الريحية. من حيث المبدأ تعد هذه الطريقة جيدة للحصول على خواص متفوقة للمادة المركبة الناتجة، إلا أنّها تعاني من بعض المساوئ أو المعيقات، كضرورة ضمان استقرار الألياف وثباتها في أماكنها وألّا تنزلق نحو بعضها البعض أثناء عملية الصب، كما تتطلب عمليات تصنيع المواد المركبة بهذه الطريقة تمتّع البوليمر المستخدم بلزوجة معينة تساهم في تحقيق الملء الكامل لحيز القالب قبل تصلبه، وبالتالي تحقيق الخواص الميكانيكية المطلوبة للمنتج النهائي. لذلك تتمثل أهداف البحث بدراسة تأثير النسب (0,2,5,10%) من الأسيتون على:

١- قيم اللزوجة للبوليمر المستخدم (البولي استر غير المشبع).

٢ -القيم المميزة لمنحنيات تصلب البولي استر غير المشبع.

٣ -الخواص الميكانيكية للمركب النهائي المحضر بطريقة(VRTM).

٣- المواد المستخدمة في البحث:

١- مادة البولي إستر غير المشبع (TOPAZ-110TP) للاستخدام العام المتوفرة في السوق المحلية، وتحوي على (1.5% MEKP + 0.5 % cobalt nafthanate)

ولها الخواص المبينة في الجدول (١):

جدول (١)- خواص البولي استر غير المشبع بدرجة حرارة الوسط المحيط عند الاختبار.

الخصائص	المواصفات	الواحدة
الحالة	**سائل لزج وردي اللون**	
اللزوجة عند الدرجة 21°C	١-٠,٠٨	**Pa. S**
زمن التجلتن عند إضافة 1.5% من مادة MEKP	٢٠-١٥	**Min**
درجة الحرارة الأكسوثرمية العظمى عند إضافة 1.5% من مادة MEKP	١٤٦	°C

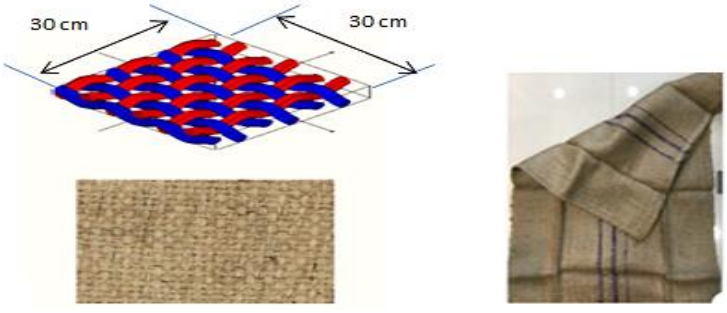
٢- المادة البادئة (catalyst): بيروكسيد الميثيل إيثيل كيتون (MEKP) نوع Butanox -M-50.

٣- المادة المسرعة: محلول الكوبالت نفتنات الحاوي على نسبة (6 % كوبالت).

٤- مادة الاسيتون (CH_3COCH_3): يعرف بالبروبانون أو كيتون ثنائي الميثيل، وهو سائل عديم اللون قابل للاشتعال درجة انصهاره (-٩٥,٤°C) ودرجة غليانه (٥٦,٥٣°C). تم استخدام المادة المطروحة في الأسواق المحلية بكثافة ($0.79\ g/cm^3$) ولزوجة (0.32 m Pa.s at 20 °C).

٦- نسيج القنب: تم اقتطاع شرائح بأبعاد (30x30 cm) من أكياس القنب (أكياس الخيش) المستخدمة في الأسواق المحلية لتعبئة المحاصيل الزراعية واستخدامها بشكل طبقات تسليح لمادة (UPR) بعد غسلها من الغبار

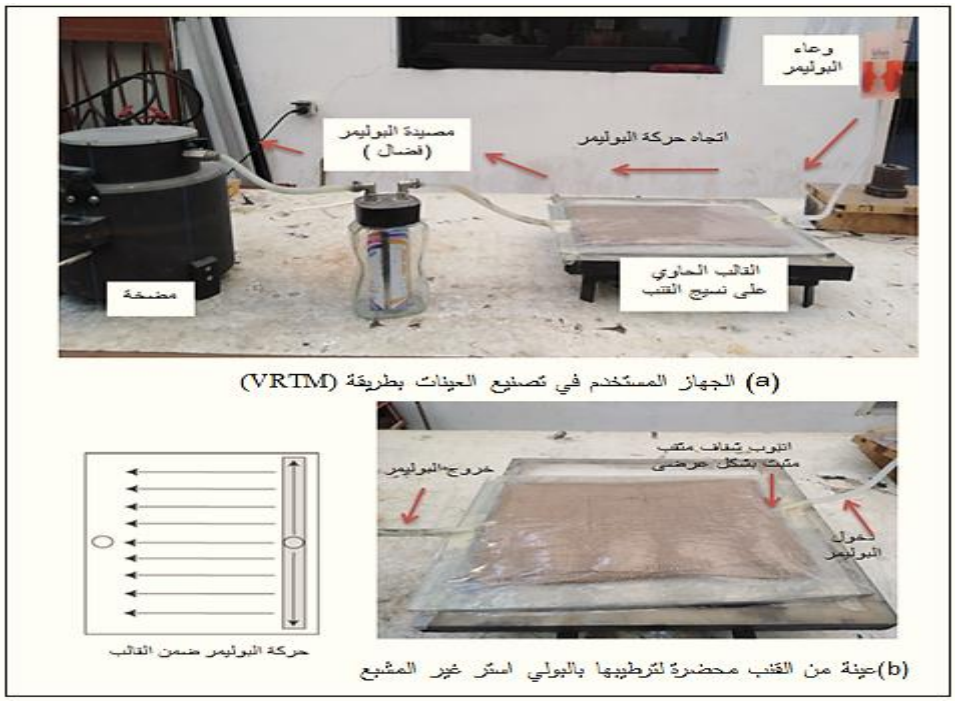
والمـــواد العالقـــة وتجفيفهـــا، النســـيج محـــاك بالأســـلوب الموضـــح بالشـــكل (١)، وســـماكة الشـــريحة الواحـــدة (1.7±0.04 mm).



الشكل (١) – أكياس القنب المستخدمة، طريقة النسج وأبعاد العينة المقتطعة.

٤-تحضير العينات بطريقة (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding):

تم وضع ست طبقات من نسيج القنب الجاف على الجزء السفلي للقالب الزجاجي المدهون بجل تحرير يمنع التصاق البوليمر المتصلب، وإحكام إغلاق القالب بواسطة كيس هوائي، ثم التخلص من فقاعات الهواء ضمن القالب عن طريق تطبيق ضغط أقل من الضغط الجوي بواسطة المضخة، تم خلط مزيج البوليمر مع مواد الإضافة لمدة ٣ دقائق لضمان التجانس، بعد ذلك تم سحب المزيج باتجاه القالب عن طريق الضغط المطبق، حيث يعمل الأنبوب المثقب المثبت عند نقطة دخول البوليمر على ضمان توزع البوليمر على كامل حيز القالب كما هو موضح بالشكل (٢)، بعد امتلاء القالب تم احتجاز البوليمر الفائض في الفضال أو ما يسمى (مصيدة البوليمر)، ثم تركت العينات للتصلب بدرجة حرارة الغرفة (وسطياً 20°C) لمدة ٢٤ ساعة. نسبة الألياف الحجمية إلى البوليمر (٧٠:٣٠).



الشكل (٢) – الجهاز المستخدم حسب طريقة (VRTM)، وعينة من القنب محضرة لترطيبها بالبولي إستر غير المشبع.

5- طرق الاختبار والقياس:

❖ قياس اللزوجة:

تم قياس اللزوجة بطريقة الكرة الساقطة والتي تعتمد على حساب سرعة سقوط كرة صغيرة من الحديد بكثافة (٢ g/cm^3) ونصف قطر (0.003 m) ضمن مسافة معلومة ومحددة على اسطوانة مدرجة تحوي السائل اللزج المراد قياس لزوجته، بعد ذلك تم التعويض في قانون ستوكس المعطى بالعلاقة:

$$\eta = \frac{2gr^2}{9v}(\rho_{k-}\rho_f)$$

حيث:

η : اللزوجة . (Pa.s).

ρ_K : كثافة الكرة (g/cm^3).

ρ_f: كثافة السائل (g/cm^3).

g: الجاذبية ($٩,٨١ m/s^2$).

v: سرعة الكرة في السائل (m/s).

❖ طريقة إنشاء منحنيات التصلب:

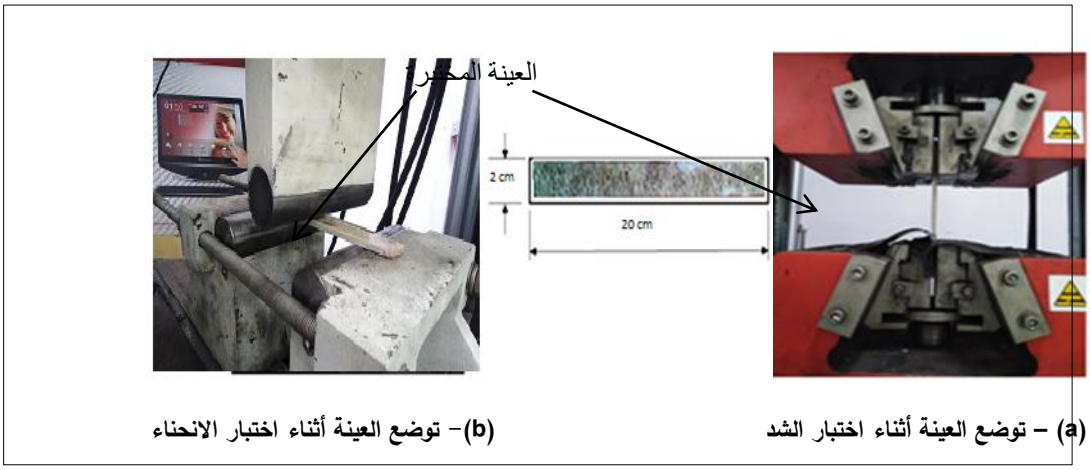
تم إنشاء منحنيات التصلب بالاعتماد على الدراسة المرجعية (AZKI *et al*.,2010)، حيث تم وضع مادة البولي استر غير المشبع في كأس من البلاستيك بجو غير معزول حرارياً (غير أديباتي) بدرجة حرارة الوسط المحيط بين (20-25°C)، ثم أضيف لها النسب المختارة من الأسيتون مع كلٍ من المادة البادئة والمسرعة، ومن ثم تحريك المزيج يدوياً لمدة لا تتجاوز الدقيقة الواحدة، بعد ذلك تم أخذ قراءات للتغيرات الحاصلة في درجة حرارة المزيج بدلالة الزمن حتى تمام التصلب، ثم إنشاء منحني العلاقة (درجة الحرارة- الزمن). استخدم للقياس ما يلي: أ- ميزان زئبقي مدرج حتى درجة الحرارة (200°C).

ب - ميقاتية لقياس الزمن.

ج- ميزان دقيق بدقة قياس تصل حتى (0.001 g).

❖ اختبارات الشد والانحناء:

بعد تمام تصلب الألواح المحضرة بطريقة (VRTM). تم اقتطاع عينات مستطيلة بطول (20 cm) وعرض (2 cm) وإجراء الاختبارات في مخابر جامعة تشرين على آلة اختبار نوع (iber test)، سرعة الاختبار (5 mm/min) استناداً للمواصفات القياسية (ISO 6259).

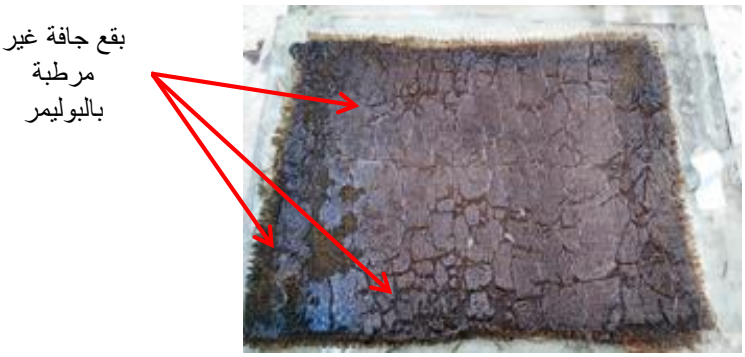


(a) – توضع العينة أثناء اختبار الشد **(b)– توضع العينة أثناء اختبار الانحناء**

الشكل (٣) – آلة الاختبار نوع (iber test) المستخدمة وأبعاد العينات المختبرة على الشد والانحناء.

٦– النتائج والمناقشة:

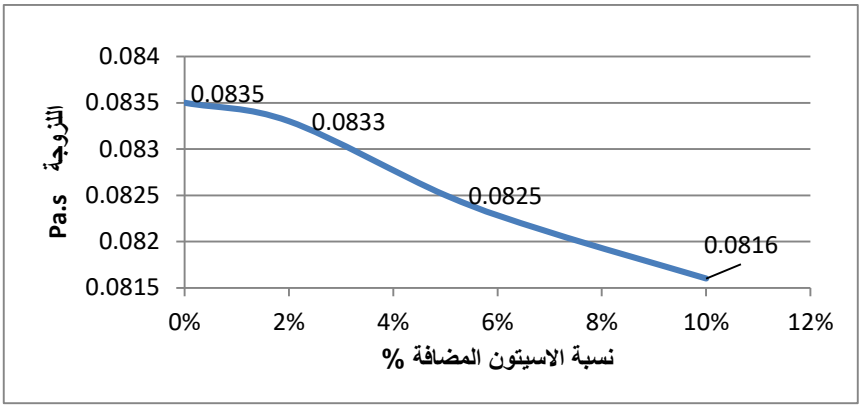
يمتلك البولي استر غير المشبع القدرة على التدفق بدرجات الحرارة العادية، لكنه لزج جداً ليتم استعماله في تقنيات الصب بتفريغ الهواء (VRTM)، حيث تمنع مقاومة التدفق الناتجة عن لزوجته المرتفعة امتلاء القالب بشكل كامل. يظهر الشكل (٤) صورة فوتوغرافية مأخوذة لسطح عينة من البولي استر غير المشبع مسلحة بست طبقات من نسيج القنب محضرة بطريقة (VRTM)، ويمكن من الشكل ملاحظة انتشار العديد من المناطق الجافة وغير المرطبة على السطح.



الشكل (٤)– عينة UPR بدون إضافات مسلحة بست طبقات من نسيج القنب ومحضرة بطريقة (VRTM).

٦–١– اللزوجة بدلالة نسبة الأسيتون المضافة:

لتخفيف لزوجة (UPR) تم إضافة الأسيتون بالنسب الوزنية (0,2,5,10%)، أظهرت نتائج قياس اللزوجة حسب طريقة الكرة الساقطة القيم المبيّنة في الشكل (5):

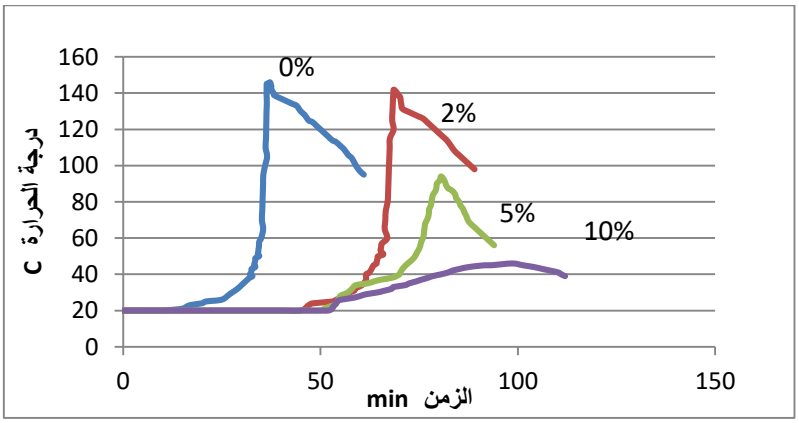


الشكل (5) – منحنيات تغير قيم اللزوجة للبولي استر غير المشبع بدلالة نسبة الاسيتون

يلاحظ من الشكل (5) انخفاض قيم لزوجة (UPR) بزيادة نسبة الأسيتون المضافة بمقدار منخفض نسبياً، بلغ الانخفاض في قيمة لزوجة (UPR) (2.275%) عند إضافة النسبة (10%) من الأسيتون، بالرغم من التغير النسبي الصغير في قيم اللزوجة إلا أنّ هذه النتيجة تؤكد دور الأسيتون كمادة مذيبة، وإمكانية استخدامه عندما تقتضي الضرورات التكنولوجية تعديل لزوجة (UPR). تؤكد هذه النتيجة أيضاً ضرورة رصد التغيرات الحاصلة في الخواص الفيزيائية والميكانيكية بهدف التأكد من إمكانية استثمار هذه المادة في الصناعة عند الضرورة.

٦-٢- منحنيات تصلب UPR بدلالة نسبة الأسيتون المضافة:

تعتبر تفاعلات التصلب الحاصلة بين مكونات مزيج (UPR) والمواد البادئة والمسرعة من التفاعلات الناشرة للحرارة، وتمر بعدة مراحل تمثّل بمنحني العلاقة الواصف لتغير درجة حرارة المزيج بالنسبة للزمن كما يظهر في الشكل (٦). يبين الشكل (6) منحنيات التصلب لمزيج البولي استر غير المشبع الحاوي على نسب ثابتة من المادة البادئة (1.5%) والمادة المسرعة (0.5%) مع إضافة النسب المختارة من الأسيتون،



الشكل (6) – منحنيات التصلب لمادة البولي استر غير المشبع بدلالة نسب مادة الاسيتون المضافة

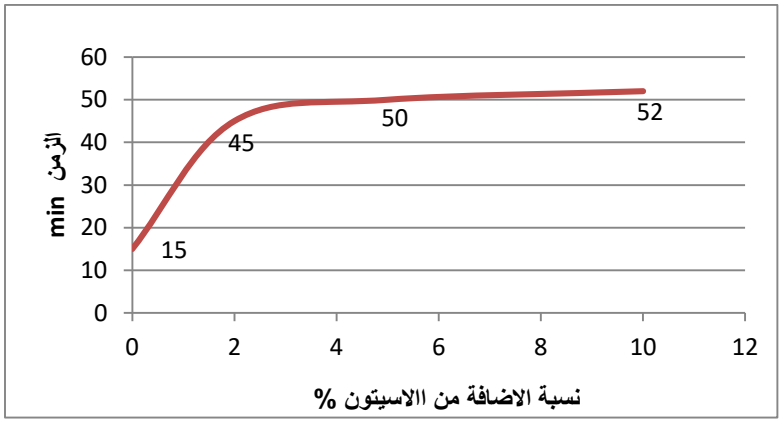
– يحوي المزيج على نسب ثابتة لكل من البيروكسيد والمسرع

يلاحظ من خلال الشكل انخفاض درجة الحرارة العظمى بزيادة نسبة الإضافة وزيادة كلٍ من درجة حرارة التجلتن وزمن المنطقة التحريضية.

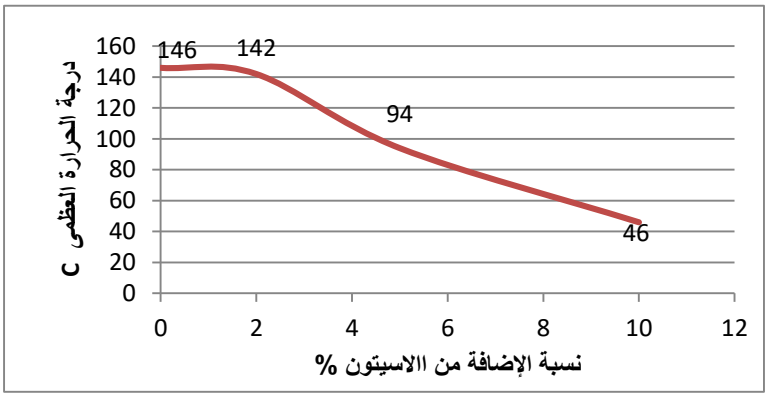
تعتبر هذه التغيرات هامة جداً بالعملية التكنولوجية لأنها توفر إمكانية للتحكم بعملية الإنتاج، فانخفاض درجة الحرارة العظمى هام جداً كونه يخفّض من حدة التفاعلات الكيميائية الحاصلة بين مكونات المزيج أثناء حادثة التصلب، والتي تعتبر بحد ذاتها السبب الرئيس في نشوء الإجهادات والتشوهات الداخلية، كما أن تخفيض درجة الحرارة العظمى هو مطلب أساسي عند إنتاج قطع ذات أحجام كبيرة، وبالتالي ينبغي أخذها بعين الاعتبار من الناحية التصنيعية.

يعتبر الزمن اللازم لبدء التجلتن أيضاً من الأزمنة الهامة كونه يعبر عن بدء التحول الطوري للمادة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة. ينبغي الإشارة إلى أنّ المركب يبقى محافظاً على قوامه وخصائصه ضمن المجال التحريضي الأول على منحني التصلب قبل الوصول لدرجة حرارة التجلتن (t_{gel}) هذا المجال يضمن استقرار وتجانس خواص المنتج النهائي خاصةً عندما يكون المنتج كبيراً.

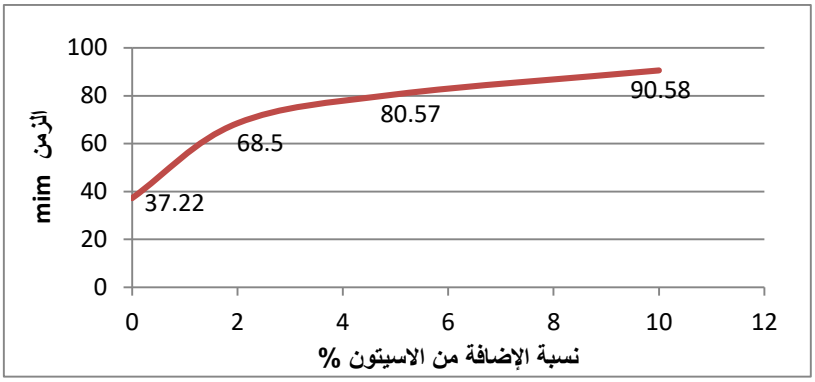
بهدف القراءة الدقيقة لتأثير الأسيتون على القيم المميزة لمنحنيات تصلب البولي استر غير المشبع تم إنشاء منحنيات (تغير درجة الحرارة العظمى، زمن التجلتن، وزمن الوصول للحرارة العظمى) بدلالة النسب المضافة كما هو موضح بالأشكال (٧)،(٨)،(٩) على التوالي:



الشكل (7) – منحنيات تغير زمن التجلتن بدلالة نسب الأسيتون لمزيج UPR الحاوي على نسب ثابتة من البيروكسيد والمسرع



الشكل (8) – منحنيات تغير درجة الحرارة العظمى T_{max} بدلالة نسبة الأسيتون لمزيج UPR الحاوي على نسب ثابتة من البيروكسيد والمسرع



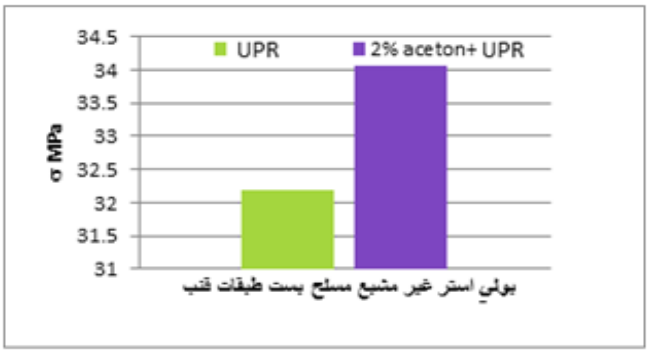
الشكل (9) – منحنيات تغير زمن الوصول للدرجة T_{max} بدلالة نسبة الاسيتون لمزيج UPR الحاوي على نسب ثابتة لكل من البيروكسيد والمسرع

يظهر من الشكل (7) زيادة الزمن اللازم للوصول إلى مرحلة بدء التصلب بزيادة النسبة المضافة من الأسيتون، كما تظهر الأشكال (8–9) ميل مادة الأسيتون لتهدئة حدة التفاعلات الحاصلة بين مكونات مزيج(UPR) بزيادة نسبتها المضافة، حيث يحتاج بلوغ المزيج درجة الحرارة (46 Cº) زمناً قدره (90.58 min) عند النسبة (10%) أسيتون، هذا الزمن كبير نسبياً وغير مرغوب في التصنيع كونه يزيد من زمن دورة الانتاج خاصةً عند انتاج قطع بأبعاد كبيرة.

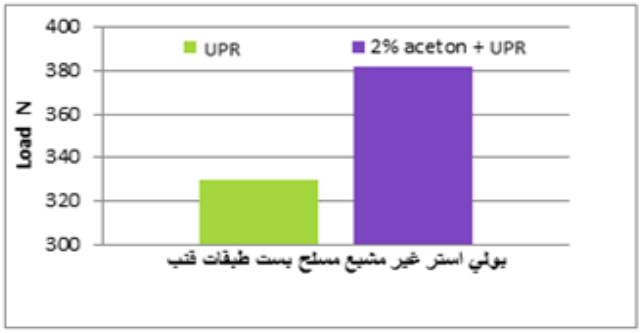
بمقارنة نتائج منحنيات التصلب مع قيم اللزوجة المشار إليها سابقاً بالشكل (٥) يمكن القول أنه لا داعي لاستخدام الأسيتون بنسب أعلى من (2%) في حال اقتضت الضرورة التكنولوجية.

٦–٣– مقارنة الخواص الميكانيكية لعينة محضرة بطريقة (VRTM) مع/ بدون إضافة(2% أسيتون):

تظهر الأشكال (10–11) نتائج اختبار الخواص الميكانيكية (شد – انحناء) لعينات البولي استر غير المشبع المسلحة بالقنب المحضرة بطريقة (VRTM) مع / بدون إضافة النسبة (2% أسيتون).



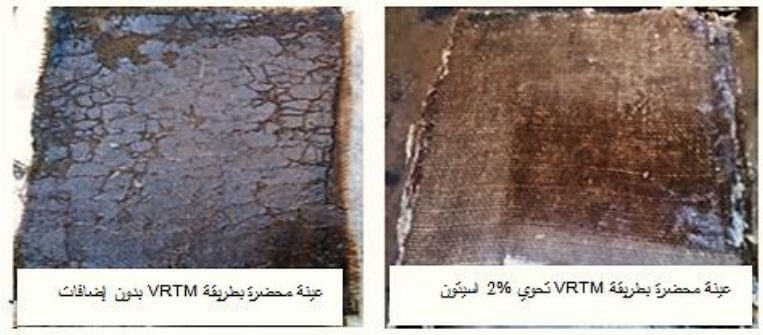
الشكل(١٠) – إجهاد الشد لمركبات البولي إستر غير المشبع المسلحة بست طبقات من نسيج القنب محضرة بطريقة (VRTM) مع / بدون إضافة 2% أسيتون .



الشكل (١١)- القوة اللازمة للانحناء لمركبات (UPR) المسلحة بست طبقات من نسيج القنب محضرة بطريقة (VRTM) مع / بدون إضافة 2% أسيتون

تظهر الأشكال(10-11) أنّ إضافة النسبة (2%) أسيتون حسّنت من الخواص الميكانيكية للمادة الناتجة مقارنة بالعينة المحضرة بدون إضافات، حيث بلغت قيمة مقاومة الشد (34.05 MPa) في حين بلغت القوة اللازمة للانحناء (382 N)، أي أنّ ضبط اللزوجة باستخدام (٢%) أسيتون وتحقيق التوزع المتجانس للبوليمر على كامل القالب حسّن من قيمة مقاومة الشد بمقدار (5.7%) وقيمة القوة اللازمة للانحناء بمقدار (15.7%).

يظهر الشكل (١٢) الصور الفوتوغرافية المأخوذة لسطح عينات البحث المحضرة بطريقة **(VRTM)** مع / بدون إضافة (2%) أسيتون،



الشكل (١٢)- عينة بولي إستر غير مشبع مسلحة بست طبقات من نسيج القنب ومحضرة بطريقة (VRTM) مع /بدون اضافة 2% أسيتون

بمقارنة سطح العينة الجديدة (بإضافة 2% أسيتون) مع مثيلتها المحضرة سابقاً (دون إضافة 2% أسيتون) يمكن من خلال الشكل ملاحظة الأثر الايجابي لإضافة الأسيتون من حيث جودة السطح واختفاء البقع الجافة.

٧- الاستنتاجات:

- يساهم الأسيتون في تخفيف لزوجة البولي إستر غير المشبع بمقدار منخفض نسبياً يبلغ (2.25%) عند أعلى نسبة إضافة.

- يلعب الأسيتون دور المادة المهدئة للتفاعلات الكيميائية الحاصلة في البولي إستر غير المشبع ويساهم في حدوث تغيرات في سلوك منحنيات تصلبه، حيث سببت إضافة الأسيتون وفق النسب (2,5,10%) زيادة في كل من

زمن التجلتن والزمن اللازم للوصول للحرارة العظمى (T_{Max}) بمقدار (200%, 233%, 246.6%) و(84%, 116.4%, 143.3%) على التوالي، في حين خفّضت إضافة هذه النسب من درجة الحرارة العظمى(T_{Max}) بمقدار (2.73%, 35.6%, 68.4%)على التوالي.

– تساهم إضافة النسبة (2% أسيتون) في تخفيض لزوجة البولي إستر غير المشبع بنسبة تبلغ (0.23%) وتزيد من قدرته على الترطيب عند التصنيع بطريقة (VRTM).

– زيادة الخواص الميكانيكية (شد – انحناء) بإضافة النسبة (2% أسيتون) لعينات UPR المحضرة بطريقة(VRTM) مقارنةً بمثيلتها من البولي إستر النقي، حيث ازدادت مقاومة الشد بمقدار(5.7%)، والقوة اللازمة للانحناء بمقدار(15.7%).

٨– التوصيات:

– دراسة تأثير الأسيتون بوجود مواد مالئة.

– دراسة إضافة مواد أخرى كالكحول الايثيلي أو الميثانول ومدى تأثيرها على لزوجة UPR والخواص الميكانيكية لمركباته المحضرة بطريقة (VRTM).

المراجع :

1- AURER, J. H; KASPER, A. *Unsaturated Polyester Resins. technical collaboration of BÜFA Reaktionsharze GmbH & Co. KG and DSM Composite Resins AG.*2003.

2- MANSOUR, R. 2001, *Effect of additive materials on kinetic curves of unsaturated polyester resin, Damascus university* .vol.10, No.1 , pp.129-141.

3- AZKI ,A; MANSOUR, R; ALHAMWI, L. 2010, *The Effect of Catalyst and Accelerator Material on Curing Curves of Unsaturated Polyester Resin (UPR).Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series,* Vol. 32, No. 3.

4- MATUSKOVA, E ; VINKLAREK J, and HONZICEK, J .2021, *Effect of Accelerators on the curing of unsaturated polyester resins: kinetic model for room temperature curing, Ind.Eng.Chem.Res*,60,39,14143-14153. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c02963

5- COUSINS, D. S. 2018. *Advanced thermoplastic composites for wind turbine blade manufacturing. PHD Thesis, Chemical Engineering, Colorado School of Mines.*

6- THIRUNAVUKARASU, D; SHIMAMURA , Y; TOHGO, K and FUJII, T. 2020, *Mechanical Characterization on Solvent Treated Cellulose Nano fiber Preforms Using Solution Dipping–Hot Press Technique. Nano materials,* 10, 841; doi:10.3390/nano10050841 www.mdpi.com/journal/nanomaterials

7- ANSARI, F ; SKRIFVARS, M ; BERGLUND, L. 2015, *Nanostructured bio composites based on unsaturated polyester resin and a cellulose Nano fiber network. Composites Science and Technology*, vol. 117,pp. 298-306.

8- LOOS ,M ; COELHO ,L; PEZZIN ,S. 2008, *The Effect of Acetone Addition on the Properties of Epoxy. Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 18 , pp. 76-80.