مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (1) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (1) 2016

تحسين الخواص الميكانيكية للبولي استر غير المشبع المدعم بألياف زجاجية عشوائية المستخدم في تصنيع شفرة عنفة ريحية

الدكتور سمير كفا*
الدكتور رائد النجار**
ليال صوفي ***

(تاريخ الإيداع 6 / 12 / 2015. قُبِل للنشر في 7/ 2 / 2016)

□ ملخّص □

نتيجة لتطور مجال استخدام المركّبات المدعمة بالألياف في التطبيقات العملية بشكل مستمر يهدف البحث الى دراسة تأثير نسبة المواد البيروكسيدية المضافة الى مادة البولي استر غير المشبع على خواص الشد لعينات محضرة من البولي الاستر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية المستخدمة في تصنيع شفرات توربينات الرياح، وكذلك دراسة تأثير مدة تطبيق عمليات المعالجة الحرارية على تصلب البولي استر غير المشبع وخواص عملية الشد بعد تطبيق المعالجة الحرارية بهدف تحسين خواص هذه الشفرات.

تم تحضير عينات اختبار تحتوي على نسب (1% - 1.5% - 2%) من المادة البيروكسيدية ميتيل ايتيل كيتون بيروكسيد MEKP وأظهرت نتائج الاختبار أن أفضل نسبة عند 1.5%. في حين أظهرت نتائج المعالجة الحرارية أن أفضل قيم لمقاومة الشد عند الانقطاع هي للعينات المعالجة لزمن قدره /48 hours/.

الكلمات المفتاحية: البولي استر غير المشبع، توربينات ريحية، اختبار الشد، المعالجة الحرارية.

* أستاذ – قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
** أستاذ مساعد – قسم هندسة التصميم والانتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
*** طالبة ماجستير – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (1) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (1) 2016

Improve the mechanical properties of unsaturated polyester reinforced with random fiber glass which used in the manufacture of wind turbine blade

Dr. Samir Kafa*
Dr. Raed Alnajaar**
Layal Soufi***

(Received 6 / 12 / 2015. Accepted 7 / 2 / 2016)

□ ABSTRACT □

As a result of the development of the use of reinforced Composites with fibers in practical applications continuously, research aims to study the effect of proportion piroxide additives to unsaturated polyester resin on the tensile properties of the samples prepared from unsaturated polyester resin reinforced with glass fiber used in wind turbine blades manufacturing, and also studying the effect of for the application of heat treatment operations on the hardening of the unsaturated polyester and tensile properties after heat treatment process the application in order to improve the properties of these blades.

Test samples were prepared containing ratios (1% - 1.5% - 2%) of methyl Etel ketone piroxide MEKP and test results showed that the best ratio at 1.5%. While the heat treatment results showed that the best values for tensile strength at break of the samples are treated to a time of / 48 hours /.

Keywords: unsaturated polyester resin, wind turbine, Tensile test, Heat treatment.

***Professor in designing and production department; Faculty of Electrical & Mechanical Engineering; Tishreen University; Lattakia: Syria**
****professor assistant in designing and production department; Faculty of Electrical & Mechanical Engineering; Tishreen University; Lattakia: Syria**
*****Postgraduate student; Faculty of Electrical & Mechanical Engineering; Tishreen University; Lattakia: Syria**

مقدمة:

تعتبر مصادر الطاقة المتجددة من المصادر الأساسية الصديقة للبيئة المزودة للطاقة. حاليا فإن قدرة طاقة الرياح المستخدمة حول العالم حتى نهاية 2012 كان أكثر من 30 GW. وطاقة الرياح هي اليوم الأسرع نموا في تكنولوجيا توليد الكهرباء. يتم الحصول عل طاقة الرياح عن طريق دوران شفرات توربين الرياح.

تاريخيا كانت تصنع الشفرات من الخشب ولكن بسبب حساسيته للرطوبة وطرق معالجته المرتفعة الثمن عادة فقد تم استبداله بمواد اخرى حديثة مثل المواد البوليميرية المدعمة بالألياف. فللمواد المركبة وهي المواد التي تتكون على الأغلب من عنصرين هما عنصر الدعم أو الألياف والمادة الرابطة. قد يكون عنصر الدعم عبارة عن حبيبات أو جزيئات لكنه غالباً ما يكون عبارة عن ألياف تأخذ أشكالاً متنوعة واتجاهات مختلفة ضمن المادة كما أنها يمكن أن تكون مصنوعة من عدة مواد. بينما تتكون المادة الرابطة من المواد البلاستيكية أو المعدنية أو السيراميكية وذلك حسب مجال الاستخدام. حيث أن الألياف تتحمل الحمل الأساسي بينما المادة الرابطة المحيطة تحفظ الألياف في الموقع والاتجاه المطلوبين كما أنها تقوم أيضا بمقام وسيط ناقل للحمل بين الألياف وتحميها من الأضرار البيئية التي تسببها درجات الحرارة المرتفعة والرطوبة والتآكل [1,2].

لقد تطور استخدام البوليميرات المدعمة بالألياف FRP وأصبح يستخدم في معظم التطبيقات الهندسية بسبب عدة مزايا رئيسية لهذه المواد ومنها المتانة العالية المحددة، قابلية التشكيل، مقاومة التعب، مقاومة التأكل، الشفافية ونقل الضوء والعديد من الخصائص الأخرى الهامة. تشير الدراسات إلى أن معظم المشاكل التي تعانيها المواد المركبة المصنعة من مادة البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف تعتمد بشكل أو بآخر على تركيب المادة الأولية المستخدمة، وطريقة تصنيعها، درجة تصلبها، والعوامل البيئية المؤثرة. لذلك فإنه يتم التركيز على تحسين الخواص الميكانيكية – الفيزيائية والكيميائية لهذه المركبات.

منذ البدايات تم استخدام راتنجات البولي استر غير المشبع UPR في تصنيع شفرات توربينات الرياح حيث يتصف هذا الراتنج بالخصائص القيمة التالية:

1) – لزوجة مناسبة مما يتيح عملية تشرب والتصاق أفضل.
2) – خاصية التصلب كما بدرجات الحرارة العادية كذلك بدرجات الحرارة المرتفعة
3) – لا تطلق مواد متطايرة
4) – لديها خواص متانة وعازليه كهربائية ممتازة
5) مقاومة كيميائية عالية

بالإضافة إلى أنه أقل تكلفة وسهل المعالجة. [3]

أهمية البحث وأهدافه:

نتيجة الحاجة المستمرة في صناعة شفرات توربينات الرياح لإيجاد بدائل عن المواد التقليدية المعروفة وذلك من خلال العمل على إيجاد مركبات بخواص مكافئة تقريباً وبكلفة اقتصادية مناسبة. ان كل ما سبق دفع الباحثون إلى دراسة استبدال المواد المعدنية التقليدية المستخدمة في تصنيع الشفرات بالمواد المركبة التي تعتبر حديثة نسبياً وتمكننا من تحقيق خصائص عالية وتكلفة منخفضة.

ومن الهدف المذكور أعلاه تكمن اهمية البحث في تجريب واستخدام مواد أولية بلاستيكية متوفرة محليا وتستخدم في تصنيع شفرة توربين ريحي في محاولة لدراسة خواصها الميكانيكية والفيزيائية لذلك تركّز هذه الدراسة التجريبية إلى زيادة تحسين خصائص شفرات التوربينات الريحية المكونة من البولي استر غير المشبع كمادة أساس والمدعم بالألياف الزجاجية وذلك بدراسة النسبة الأفضل التي يجب استخدامها من المادة البيروكسيدية المضافة للبولي استر غير المشبع، والبحث عن نظام معالجة حرارية يمكن تطبيقه على هذه الشفرات بهدف الاقتراب من التصلب الكامل لمادة البولي استر غير المشبع والذي بدوره يحسن من الخواص الميكانيكية للشفرات . وذلك باستخدام الطريقة التقليدية في صناعة شفرات توربينات الرياح وهي طريقة الدهان اليدوي التي لا تتطلب تقنيات متقدمة وبالتالي تساهم في خفض التكلفة النهائية للمنتج النهائي. يؤدي رفع جودة المنتج النهائي إلى جدوى اقتصادية ملموسة تساعد على تطور مجال هذه الصناعة وهذا بحد ذاته يمثل أهمية كبيرة في هذا المجال.

طرائق البحث ومواده:

في السنوات الأخيرة كانت شفرة توربينات الرياح موضوع دراسة شاملة وبحث بين جميع مكونات توربينات الرياح الاخرى، ومع ازدياد الرغبة في الحصول على الطاقة من توربينات الرياح أصبحت الشركات تركز الآن على المواد المستخدمة في صناعة الشفرات التي ليس عليها أن تحمل فقط الأحمال الأيروديناميكية العالية ، وأحمال القصور الذاتي والتعب ولكن يجب أن تكون مصممة لتحمّل الآثار البيئية مثل التدهور الناتج عن الأشعة فوق البنفسجية ، وتراكم جزيئات الغبار في المواقع الرملية ، تراكم الجليد على الشفرات في البلدان الباردة ، وتأثير الرطوبة وغيرها .. بالإضافة الى مراعاة تكلفة المواد المنافسة الأخرى بحيث تضمن عمر أطول للتوربين الريحي.

بيّن الباحث Leon Mishnaevsky Jr [4] تطبيقات المواد المركبة في مجال طاقة الرياح وضرورة استخدامها. حيث أصبح الحد من الاعتماد على الوقود الأحفوري هو هدف مهم لكل من البلدان المتقدمة والبلدان النامية في العالم. لتحقيق هذا الهدف، لإنتاج الطاقة المتجددة، على وجه الخصوص، طاقة الرياح، فإنه يتطلب زيادة التركيب والتوسع قبالة الشاطئ وفي المزارع الريحية.

ووضح ايضا ضرورة تطوير المواد المركبة المتطورة، والاستفادة منها في تحسين توربينات الرياح . نظرا لارتفاع تكاليف إصلاح وصيانة توربينات الرياح، وخاصة جانبها الأكثر أهمية وهو الدوار، لضمان كفاءة العمل لمدة 20 عام وأكثر كما يجب ضمان المتانة، والقوة، ومقاومة التعب بالإضافة الى مقاومة العوامل البيئية مع انخفاض الوزن.

وبينت بعض الدراسات المرجعية [5] أنه يمكن التحكم بعملية التصلب لمادة البولي استر غير المشبع من خلال التحكم بنسب المواد البادئة والمسرعة المضافة للمزيج حيث يميل راتنج البولي استر للتصلب بشكل سريع عند استخدام نسب عالية من المادة البادئة كما يظهر ارتفاع واضح بدرجة حرارة التفاعل الإكسومترية وانخفاض بزمن الوصول إلى هذه الدرجة حيث تعتبر النسب التي تملك أزمنة تجلتن وتصلب عالية صالحة للاستخدام في التطبيقات اليدوية.

درس الباحث Osama .E.A [6] وزملائه سلوك معالجة البولي استر غير المشبع UP والذي يحتوي على تراكيز مختلفة من مونومير الستايرين ST عبر قياس اللزوجة و زمن التجلتن ودرجة الحرارة الأعظمية بالإضافة الى دراسة تأثير تركيزات الستايرين على الشد وخصائص البولي استر غير المشبع. حيث تم استخدام نسب مختلفة من MEKP كمادة بادئة ونسب من DMA كمادة مسرعة حيث بدأت هذه النسب من 0.1% - 0.2% - 0.3% . وأظهرت النتائج انخفاض كثافة ولزوجة البولي استر غير المشبع مع زيادة تركيز الستايرين حيث أن اللزوجة هي

219.3Cp عند درجة حرارة 26 C° عندما يتكون المزيج من (60 % UP – %40 ST) وتصبح اللزوجة 98.4Cp عند درجة حرارة 26 C° عندما يتكون المزيج من (50% UP – %50 ST) .

يقلل تزايد تركيز الستايرين حتى تركيز معين من MEKP من قوة الشد العظمى. إلا أن تحقيق تصلب كامل لمركبات البوليمير مازال صعب التحقيق عند المعالجة بدرجة حرارة الغرفة.

من الضروري استكمال نضج المزيج للوصول إلى أفضل الخواص الميكانيكية ومن الضروري أيضا البحث عن نسب البيروكسيد والكوبالت نفتنات التي تحقق نضج كامل للمادة بهدف الوصول إلى أفضل الخواص، كما أن كل من مادة البيروكسيد والمادة المسرعة المستخدمين يؤثران بشكل واضح على إجهاد الشد عند التحطم.

يتأثر سلوك التصلب لمواد البولي استر غير المشبعة بشكل كبير جدا ليس فقط بدرجة حرارة المعالجة وإنما أيضا بزمن معالجة المادة الراتنجية أيضا فقام الباحث V.N.Kytopoulos [7] بتعريض عينات بولي استر ايزوفتاليك المدعمة بالألياف الزجاجية لدرجات حرارة 20,80 C° لمدة سبعة أيام تقريبا ووجد تحسن واضح في المطيلية ومقاومة الشد. ودرس الباحث Y. Perrot [8] السلوك الميكانيكي لمركبات البولي استر المسلح بالألياف عند مجال درجات حرارة يتراوح بين 20 حتى 100°C لمدة 10 ساعات باستخدام اختبار الشد حيث تم التحقق من تأثير درجات الحرارة من خلال الصلابة ومنحنيات الإجهاد – الانفعال وتم الحصول على أفضل الخواص لاختبار الشد عند درجة حرارة 80°C ونسبة كاتاليست 1.5%.

المواد المستخدمة وطرق تحضير العينات:

في دراستنا التجريبية تم تحضير عينات من مادة البولي استر غير المشبع والمدعم ب(4–6–8) طبقات على التوالي من الألياف الزجاجية العشوائية باستخدام المواد التالية:

1) مادة الأساس البوليميرية: وهي راتنج البولي الاستر غير المشبع حيث أنها واحدة من أهم الراتنجات المتصلبة بالحرارة والتي تستخدم في المواد المركبة المدعمة بالألياف. ويتميز راتنج البولي استر غير المشبع المستخدم بالخواص التالية:

الخصائص	المواصفات	الواحدة
الحالة	سائل لزج وردي اللون	
اللزوجة عند 30°C	650 – 450	Cps
زمن التجلتن عند30°Cمع إضافة1.5% من مادة MEKP	20 – 15	دقيقة
نقطة الوميض	34	°C
فترة التخزين	4	أشهر

الشكل (1): صورة توضح مادة البولي استر غير المشبع المستخدمة في البحث.

2) مادة التقوية: تم استخدام ألياف زجاجية عشوائية فهي تتمتع بمتانة ومقاومة ميكانيكية عالية بالإضافة لذلك مقاومتها للتآكل وسعرها المنخفض حيث وزن ($11.2\ gr = 1\ m^2$) ، لهذه الأسباب نجد أنها الأكثر استخداماً في التطبيقات المختلفة.

الشكل (2): صورة توضح الألياف الزجاجية المستخدمة في البحث.

3) المادة البادئة للتفاعل: تم استخدام ميتيل ايتيل كيتون بيروكسيد MEKP إلى مادة البولي استر غير المشبع. حيث تساعد هذه المادة في تحويل البولي استر غير المشبع إلى الحالة الصلبة. حيث يتم التحكم بالزمن اللازم لعملية التصلب عن طريق النسبة المضافة من هذه المادة.

وفي دراستنا التجريبية تم استخدام ثلاثة نسب مختلفة (1-1.5-2)% لدراسة تأثير نسبة هذه المادة على الشد.

4) المادة المسرعة للتفاعل: تم استخدام محلول الكوبالت نفتنات تعمل المسرعات على زيادة المعدل الذي يستطيع من خلاله البيروكسيد أن يتغلغل إلى الشقوق الحرة وبالتالي يساعد في زيادة سرعة نضج راتنجات البولي استر بطريقة يمكن التحكم بها.

5) القالب: تم صناعة قالب من الألمينيوم بأبعاد (0.5*20*20)cm. حيث تم استخدام الألمينيوم لتسهيل إخراج العينات بعد تصلبها.

طرق تحضير العينات:

تم تحضير عينات الاختبار بطريقة الدهان اليدوي (Hand Lay-Up)، فهي طريقة تقليدية في إنتاج شفرات التوربينات الريحية تتميز بأنها منخفضة التكلفة.

يتم في المرحلة الأولى [9] تحضير وتجهيز القالب حيث يتم تنظيفه بشكل جيد من الغبار والأوساخ ثم دهن السطح الداخلي للقالب بعدة طبقات من الشمع بشكل جيد وذلك لمنع التصاق المواد بالقالب عند التصلب. بعد ذلك يتم مد طبقة من البولي استر غير المشبع بواسطة فرشاة دهن يدوية على السطح الداخلي للقالب، ثم يتم تقطيع الألياف بشكل كافي لتغطية الجزء بشكل كامل بعد ذلك وباستخدام فرشاة يتم وضع الراتنج المحفز بواسطة الكاتاليست على حصيرة الألياف ثم يتم وباستخدام دحروج وبإضافة المزيد من الراتنج عند الضرورة حتى تختفي جميع المناطق البيضاء في حصيرة الألياف وإخراج جميع فقاعات الهواء. الدحروج المصنع من الموهير يكون مثالي لتوزيع الراتنج والدحروج المصنع من البلاستيك المضلع أو الألمينيوم يساعد وإلى حد كبير في تفريغ أي فقاعات متبقية.

تم تحضير عينات من (4–6–8) طبقات من الألياف الزجاجية العشوائية بطريقة الدهان اليدوي عند عدة نسب من المادة البادئة MEKP (1%–1.5%–2%) ثم تم مباشرة إجراء معالجة حرارية وفق النظام التالي:

يتم وضع العينات في الفرن عند درجة حرارة 60 C° وأزمنة معالجة مختلفة hours (2,24,48,72).

طرق القياس:

-اقتطاع نماذج اختبار الشد بأبعاد cm(2×24) من الألواح المعالجة حراريا، وتم اعتماد الأبعاد السابقة، نظراً لعدم وجود شكل هندسي محدد لإجراء الاختبار، لذلك اعتمدنا النماذج المستطيلة الشكل لإجراء اختبار الشد.

-النماذج المستطيلة معتمدة عمليا عند التعامل مع البولي استر غير المشبع المسلح بالألياف الزجاجية.

وبالنسبة لطول الجزء العامل يعتبر غير مهم لسبب أن الانفعال النسبي لمثل هذه المركبات صغير جدا وهذا مايسمح لنا باعتماد عينات بأطوال تناسب آلة الاختبار التي نعمل عليها.

-أجري اختبار الشد على آلة شد نوع iber test موجودة في جامعة تشرين بسرعة (5 mm/min) وذلك استنادا للمواصفة القياسية ISO 6259.

الشكل (3): صورة توضح العينات المحضرة لاختبار الشد وآلة الشد المستخدمة.

النتائج والمناقشة:

يعمل الباحثون بشكل متواصل بالبحث عن النسب المثلى لمواد الإضافة لمادة UPR فهي المفتاح الرئيسي للحصول على خواص جيدة والبحث عن طرق لتحقيق التصلب الكامل ولو حتى بشكل نسبي.

يشير بعض الباحثين إلى أن تحقيق التصلب الكامل (Fully Cure) غير ممكن [10]، وتركز معظم الدراسات على الاختيار الدقيق لنسب مواد الإضافة الداخلة في تركيب الخليط، وتعتبر أن ذلك يمكن أن يحقق التصلب الكامل بالمفهوم النسبي [11]، وتشير بعض الدراسات إلى ضرورة إجراء معالجة حرارية للمنتج النهائي بالدرجة 60 °C لمدة

تتراوح بين (4-2) ساعة، في حين تشير دراسات أخرى إلى ضرورة استخدام خليط من مواد الإضافة، أو إجراء المعالجة الحرارية اللاحقة بعد انتهاء التصلب بالمفهوم النسبي حيث أن الوصول الى التصلب الكامل صعب المنال حتى لو استخدمت كافة الأساليب التي تهدف بشكل أو بآخر إلى الاقتراب من هذا المفهوم.

يمكن الاقتراب من التصلب الكامل عن طريق إجراء معالجات للمنتج النهائي باستخدام طرق متعددة كالتسخين بأوساط مختلفة أو بالأمواج الميكروية أو باستخدام المعالجة بالأشعة الضوئية.

ولكي يتم فهم الهدف من إجراء عمليات المعالجة هذه يجب معرفة بنية وتركيب مادة البولي استر غير المشبع فهو يحتوي على المواد المسرعة والبادئة للتفاعلات ولكي تتم عملية التصلب بشكل صحيح لابد من وجود البادئات بالإضافة الى وجود المسرع لضمان تشكيل المركب النهائي. كما يحتوي أيضا على المواد المثبطة للتفاعلات والتي تضاف لمركبات UPR بهدف المحافظة على خصائص المادة الأولية طيلة فترة التخزين ومنعها من التفكك أو التصلب الذاتي بمرور الزمن.

تدخل كافة العناصر الموجودة في UPR بالتفاعل مع الجذور الحرة التي تولدها المادة البادئة ومن هنا تأتي أهمية البحث عن النسبة المثلى التي ينبغي إضافتها لبدء التفاعلات وحدوث التصلب، يرافق حدوث تصلب مادة UPR ارتفاع بدرجة حرارة المزيج لتصل في أغلب الأحيان (160° C) وأن إضافة مادة بادئة بكميات كبيرة يسبب حدوث تفاعلات التصلب بشكل سريع، ويترافق هذا مع ارتفاع حاد بدرجة الحرارة ونشوء إجهادات حرارية ضمن بنية المنتج النهائي، وحدوث تشوهات واضحة بالبنية نتيجة الاجهادات الداخلية المتشكلة، أما إذا كانت كمية المادة البادئة أقل من المطلوب يحدث تصلب غير مكتمل ويكون المنتج غني بالأطوار غير المتصلبة الأمر الذي ينعكس سلبا على خواص المنتج النهائية.

ومنه يمكن تلخيص الأسباب التي تؤدي الى انخفاض الخواص الفيزيائية – الميكانيكية لمركبات UPR:

1 -عدم الاختيار الأمثل لنسب المواد اللازم إضافتها لمادة UPR يسبب انخفاض بمتانة مادة الأساس البوليميرية التي تعتبر الحاضنة الأساسية لطبقات التسليح.

2 -العيوب الناشئة عن عملية التصنيع، وبما أن العملية يدوية فإنها عرضة للعديد من الأخطاء التي تسبب نشوء العيوب الداخلية في المنتج النهائي، ويمكن التقليل قدر الإمكان من هذه العيوب عندما يتقيد العامل بالشروط العلمية الموصى بها والتي تجنب قدر الإمكان حدوث مثل هذه العيوب.

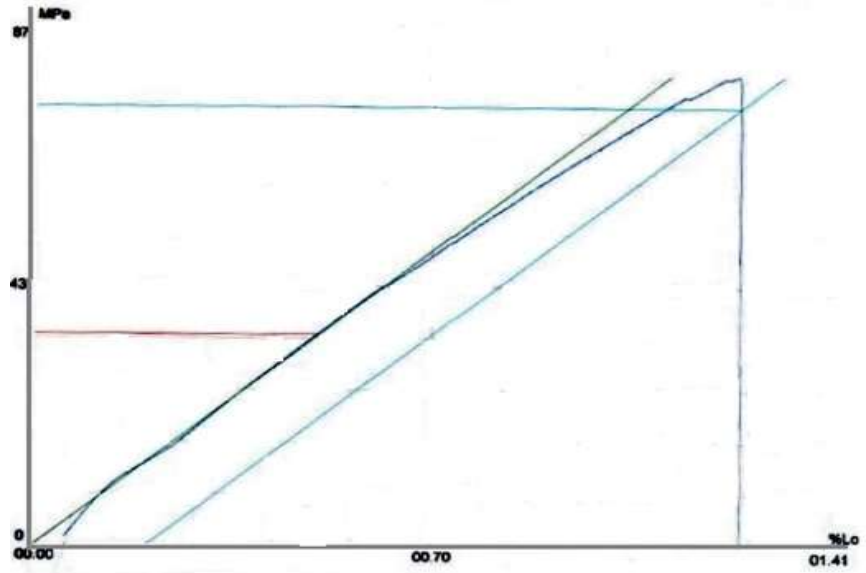
ومما سبق فقد عمدنا في دراستنا التجريبية على إلى:

1 -دراسة تأثير عدد طبقات التسليح على إجهاد التحطم على الشد.

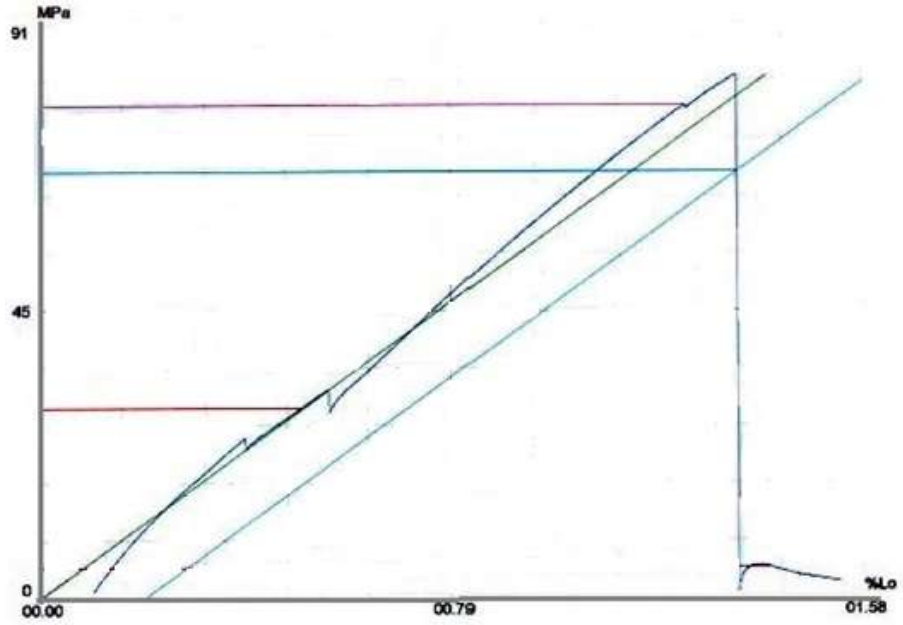
2 -دراسة تأثير نسبة المادة البادئة البيروكسيدية المضافة لمادة UPR على إجهاد التحطم على الشد.

3 -اقتراح نظام للمعالجة الحرارية بالدرجة 60° C عند أزمنة 2,24,48,72.

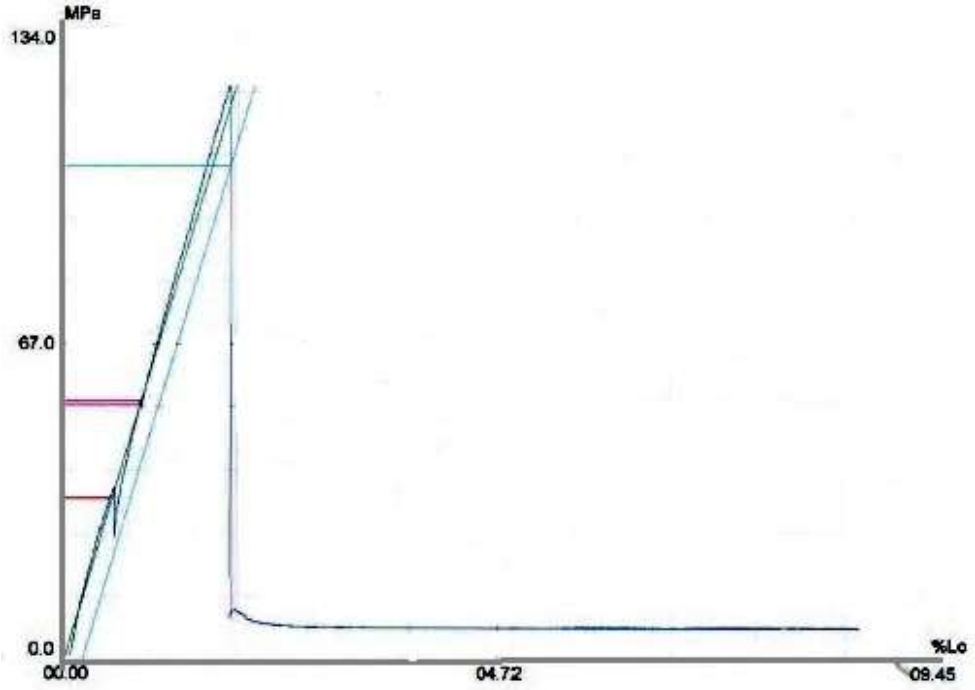
وكما ذكرنا فإنه نادرا ما يتم تصنيع مركبات UPR دون استخدام مواد مالئة لأغراض خاصة أو دون استخدام ألياف التسليح (الزجاجية، الكربونية ... الخ) لهدف تحسين الخصائص الميكانيكية . تبين الأشكال(من الشكل(4) الى الشكل(17)) التالية منحنيات (الاجهاد – الانفعال) لعينات مقتطعة من ألواح مع اختلاف عدد طبقات التسليح بالألياف الزجاجية .



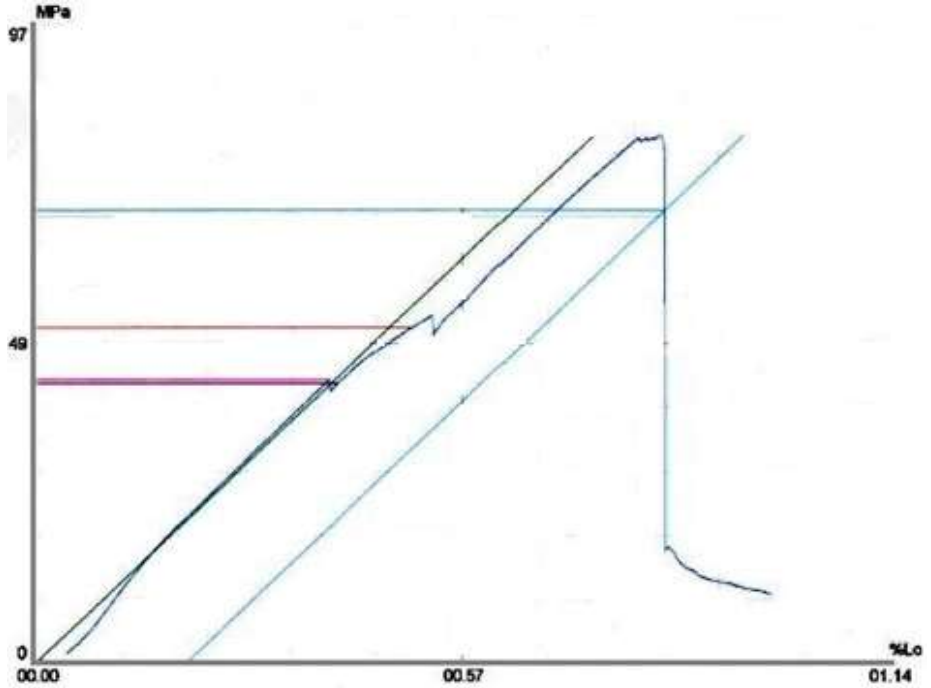
الشكل (4): مخطط (الاجهاد – الانفعال) لعينات من 4 طبقات من البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية عند نسبة 1.5% بيروكسيد وبدون إجراء معالجة حرارية



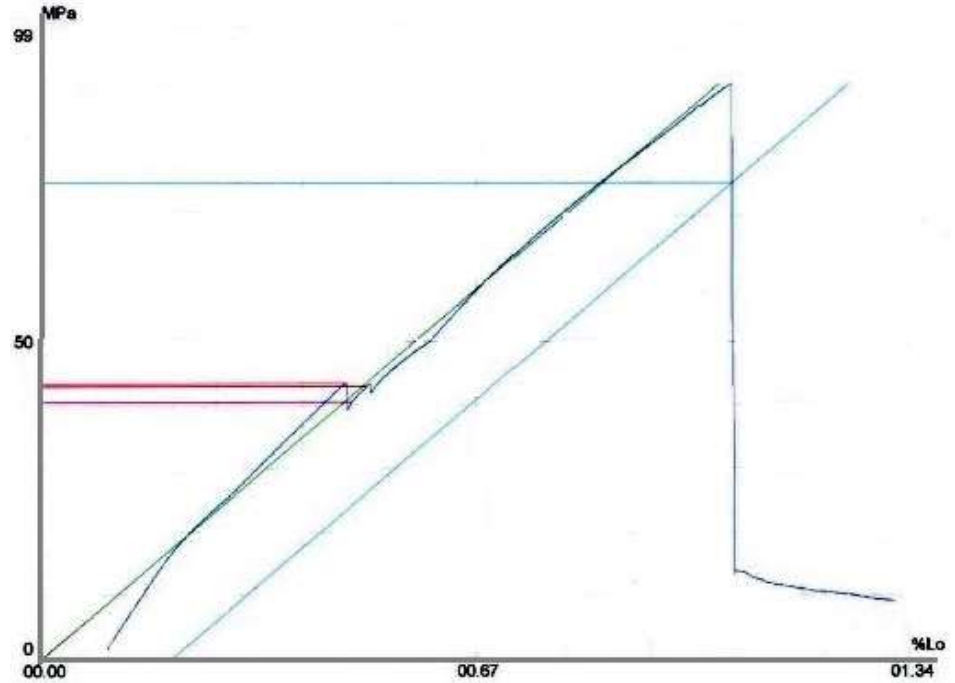
الشكل (5): مخطط (الاجهاد – الانفعال) لعينات من 6 طبقات من البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية عند نسبة 1.5% بيروكسيد وبدون إجراء معالجة حرارية



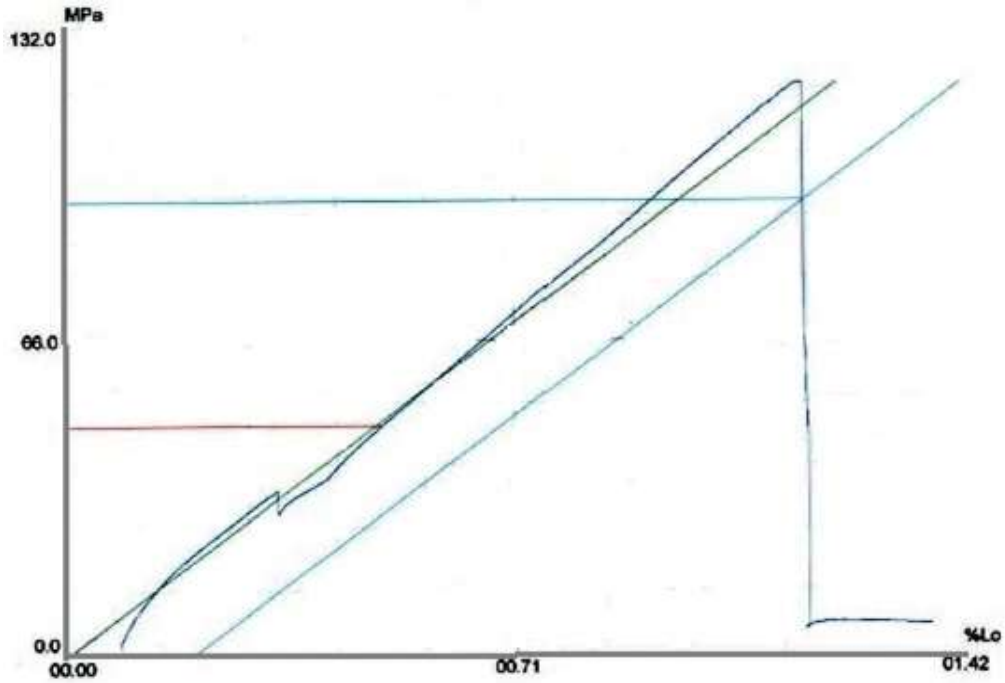
الشكل (6): مخطط (الاجهاد – الانفعال) لعينات من 8 طبقات من البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية عند نسبة 1.5% بيروكسيد وبدون إجراء معالجة حرارية



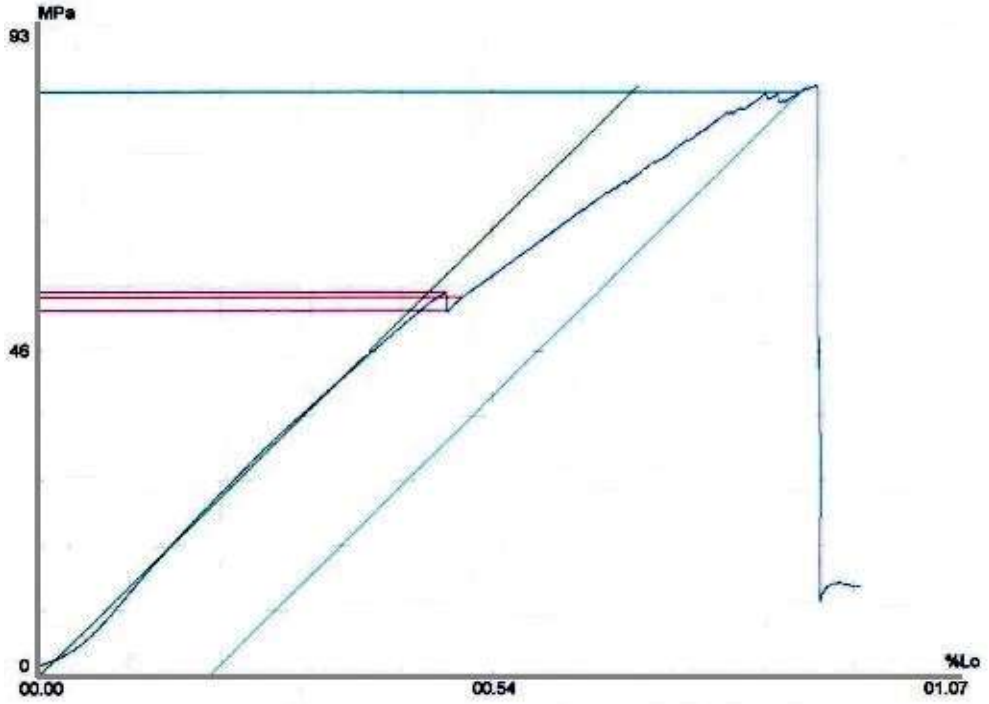
الشكل (7): مخطط (الاجهاد – الانفعال) لعينات من 4 طبقات من البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية عند نسبة 1.5% بيروكسيد مع إجراء معالجة حرارية لمدة 2 ساعة.



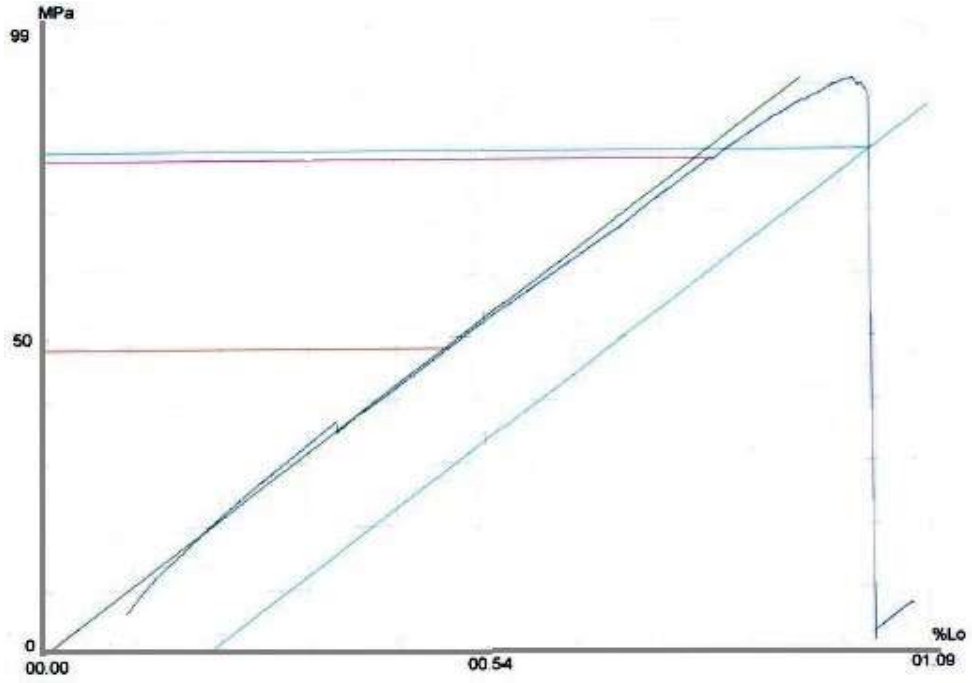
الشكل (8): مخطط (الاجهاد – الانفعال) لعينات من 6 طبقات من البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية عند نسبة 1.5% بيروكسيد مع إجراء معالجة حرارية لمدة 2 ساعة.



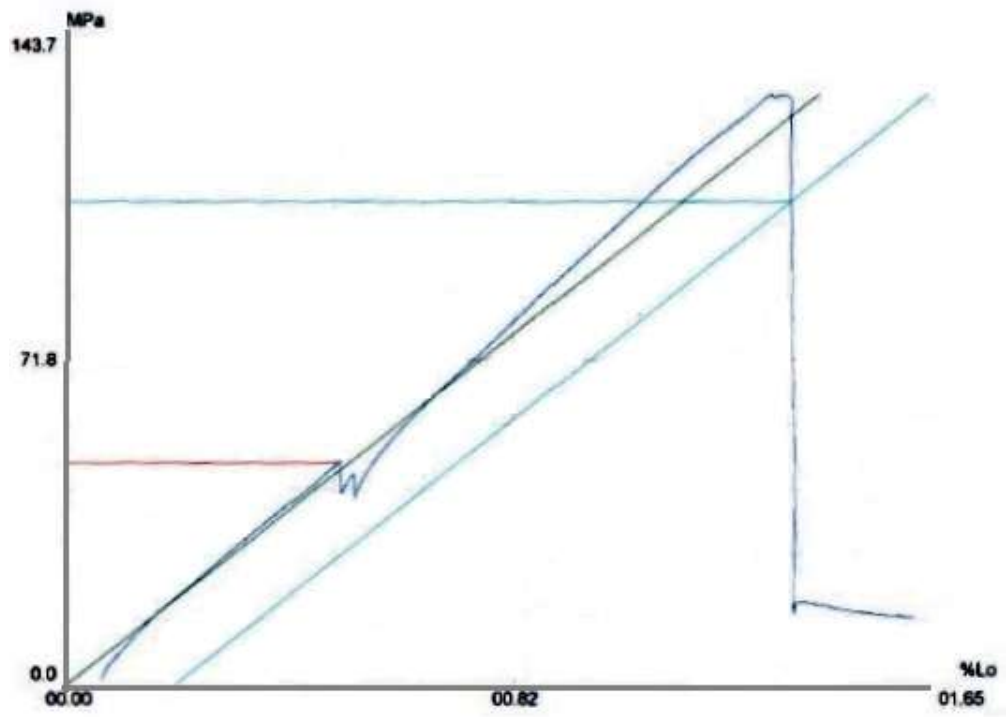
الشكل (9): مخطط (الاجهاد – الانفعال) لعينات من 8 طبقات من البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية عند نسبة 1.5% بيروكسيد مع إجراء معالجة حرارية لمدة 2 ساعة.



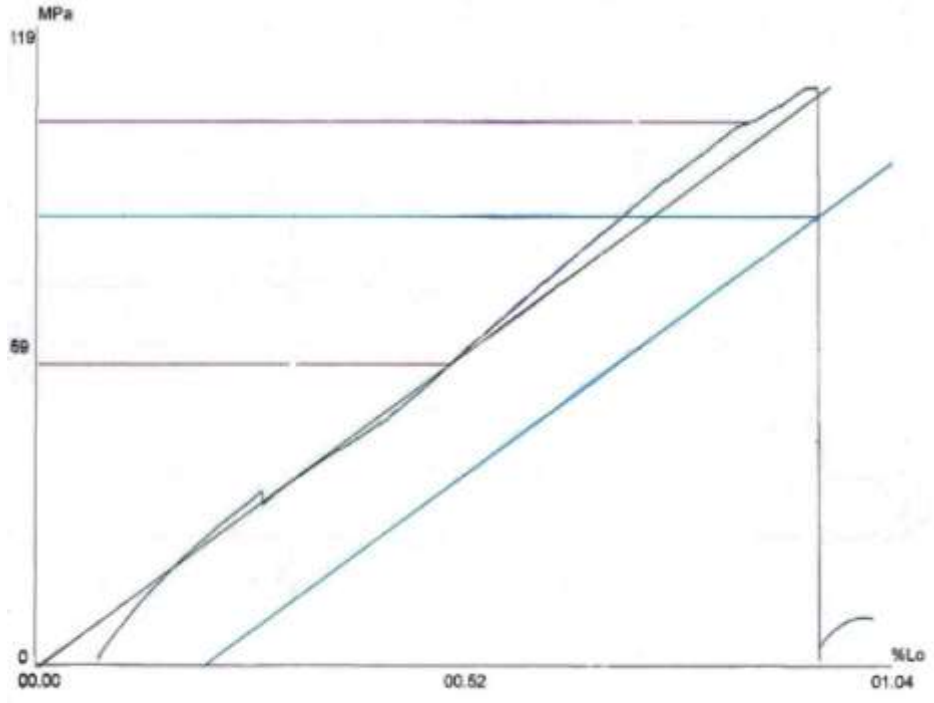
الشكل (10): مخطط (الاجهاد – الانفعال) لعينات من 4 طبقات من البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية عند نسبة 1.5% بيروكسيد مع إجراء معالجة حرارية لمدة 24 ساعة.



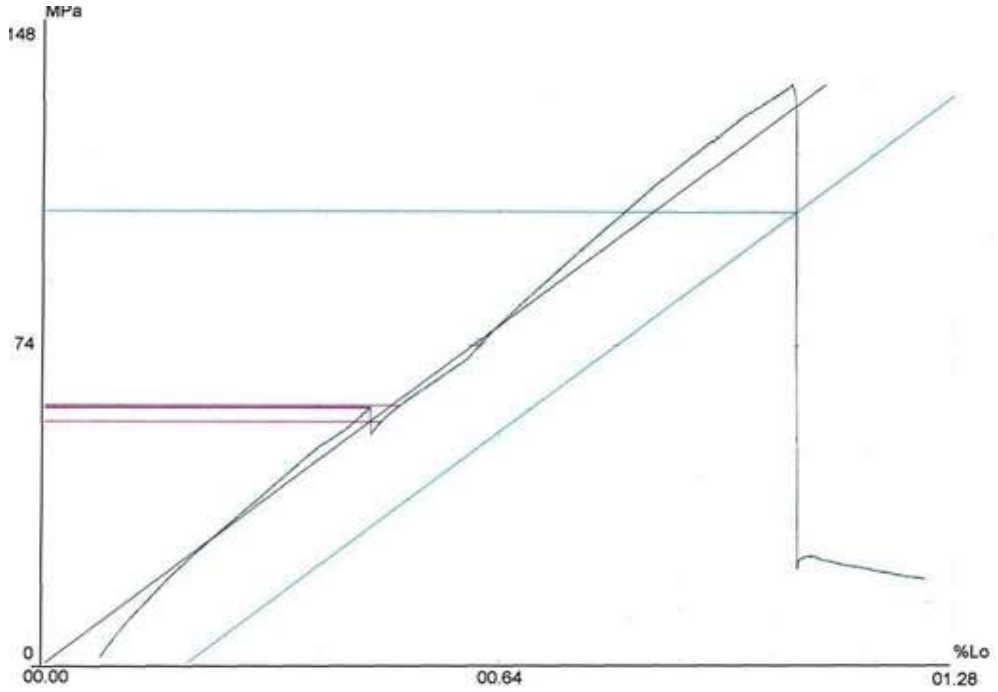
الشكل (11): مخطط (الاجهاد – الانفعال) لعينات من 6 طبقات من البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية عند نسبة 1.5% بيروكسيد مع إجراء معالجة حرارية لمدة 24 ساعة.



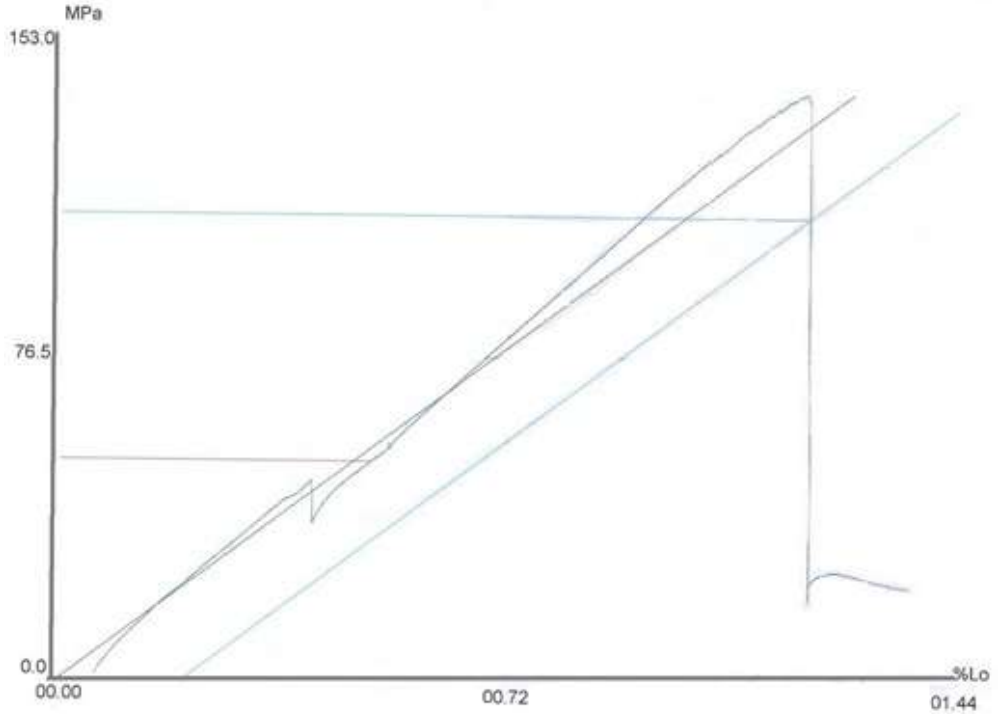
الشكل (12): مخطط (الاجهاد – الانفعال) لعينات من 8 طبقات من البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية عند نسبة 1.5% بيروكسيد مع إجراء معالجة حرارية لمدة 24 ساعة.



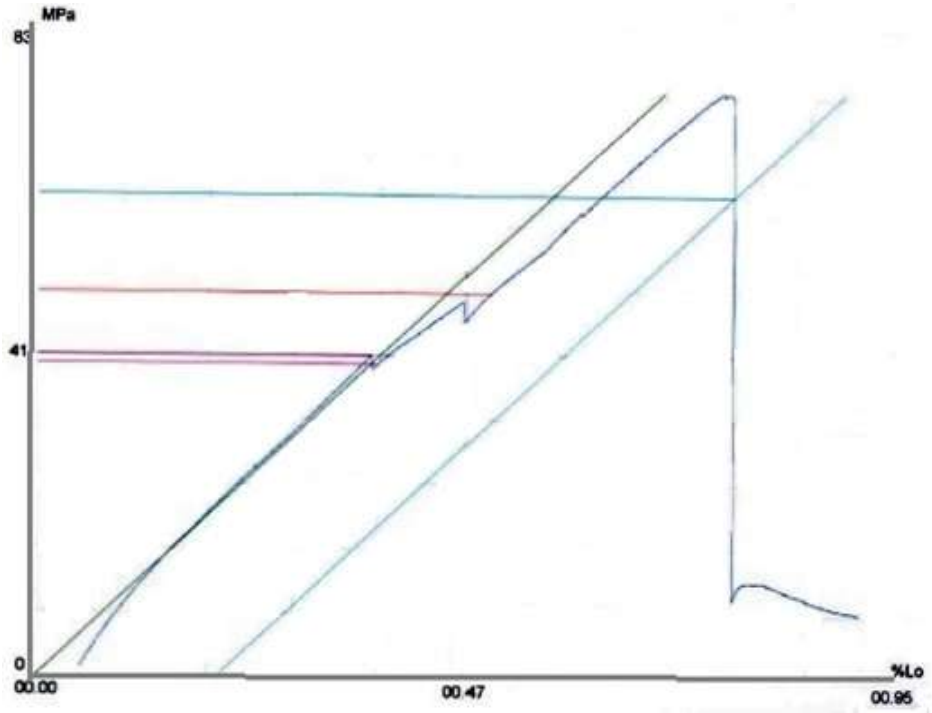
الشكل (13): مخطط (الاجهاد – الانفعال) لعينات من 4 طبقات من البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية عند نسبة 1.5% بيروكسيد مع إجراء معالجة حرارية لمدة 48 ساعة.



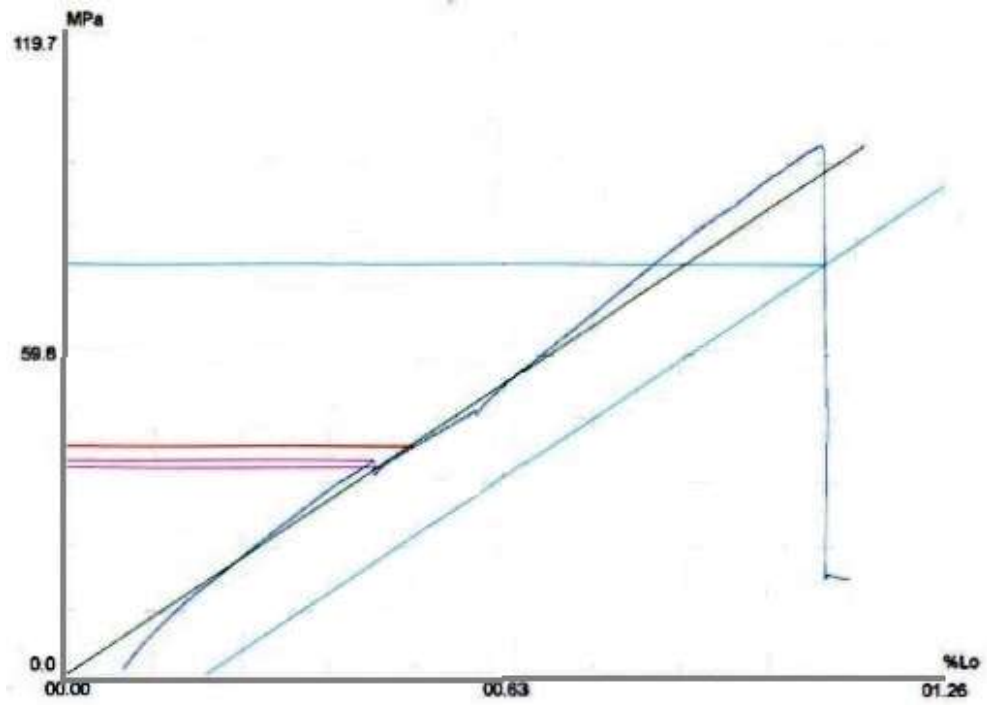
الشكل (14): مخطط (الاجهاد – الانفعال) لعينات من 6 طبقات من البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية عند نسبة 1.5% بيروكسيد مع إجراء معالجة حرارية لمدة 48 ساعة.



الشكل (15): مخطط (الاجهاد – الانفعال) لعينات من 8 طبقات من البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية عند نسبة 1.5% بيروكسيد مع إجراء معالجة حرارية لمدة 48 ساعة.



الشكل (16): مخطط (الاجهاد – الانفعال) لعينات من 4 طبقات من البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية عند نسبة 1.5% بيروكسيد مع إجراء معالجة حرارية لمدة 72 ساعة.



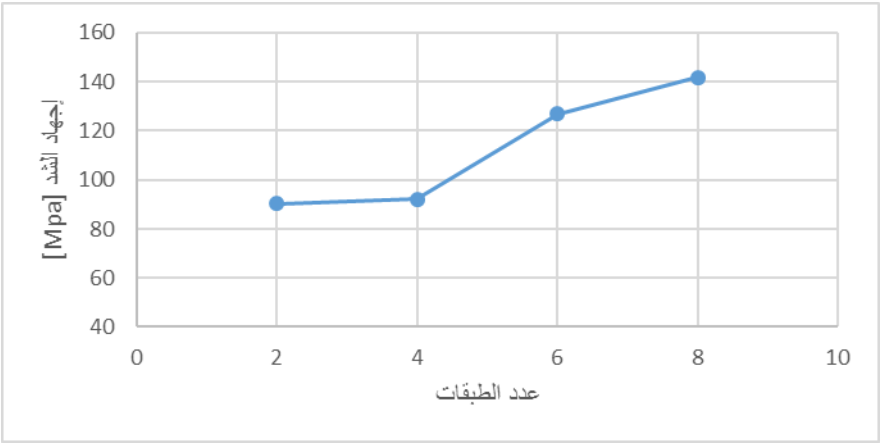
الشكل (17): مخطط (الاجهاد – الانفعال) لعينات من 8 طبقات من البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية عند نسبة 1.5% بيروكسيد مع إجراء معالجة حرارية لمدة 72 ساعة.

وكما هو واضح أن السلوك العام لهذه المركبات سلوكا قصفا وأن نسبة الانفعال النسبي عند الانكسار صغير جدا بسبب صلابتها العالية وعادة فإن القيمة العظمى للاستطالة النسبية لمثل هذه المركبات لا تتجاوز 2%.

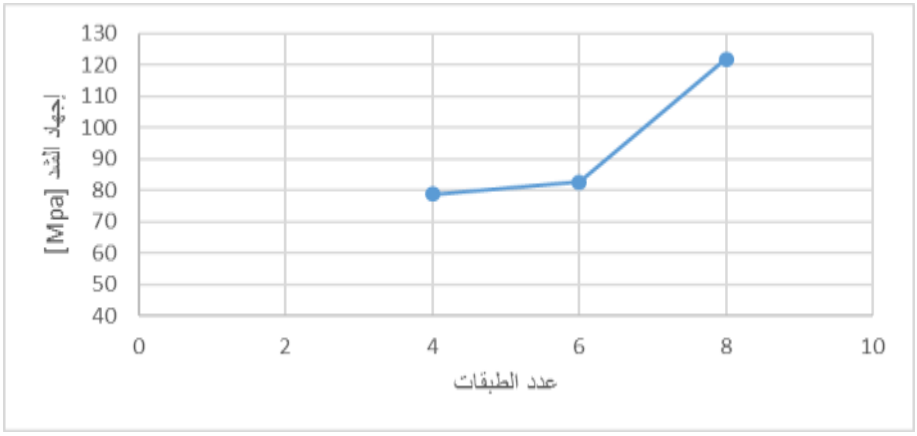
من جهة أخرى تبدي عدد طبقات التسليح تأثيرا واضحا على قيم الشد العظمى حيث يلاحظ أن زيادة عدد الطبقات يساهم في زيادة قيم إجهاد الشد عند الانقطاع وهذه النتيجة منطقية وخاصة اذا علمنا أن الهدف الأساسي للألياف هو تبديد و تشتيت الإجهادات المؤثرة، وبما أن زيادة عدد الطبقات يزيد من نسبة الألياف فإنه من المنطقي زيادة مقاومة الشد عند الانكسار بزيادة عدد طبقات التسليح. وبما أن الألياف المستخدمة في بحثنا هي ألياف عشوائية وغير موجهة باتجاه تأثير الإجهاد الأعظمي المؤثر عند الاختبار فإن نسبة الألياف يؤثر بشكل واضح وخاصة إذا علمنا دور كل ليفة على حدى تقوم بامتصاص جزء من طاقة التحطم وذلك حسب الاجهاد المطبق على مادة الأساس و حسب تأثير مركبة القوة المؤثرة على كل ليفة على حدى.

بناء على ما سبق ذكره يمكن القول أن القوى المؤثرة تنتقل إلى الألياف عن طريق مادة الأساس البوليميرية ومن هنا تأتي أهمية البحث عن كيفية تحسين خصائص مادة الأساس بهدف تحسين خصائص المتانة للمادة المركبة بشكل عام فمادة الأساس تجمع طبقات التدعيم معا وتحافظ على شكل العنصر وتحمي الألياف من الانهيار تحت تأثير عوامل التآكل او بسبب أي هجوم بيئي.

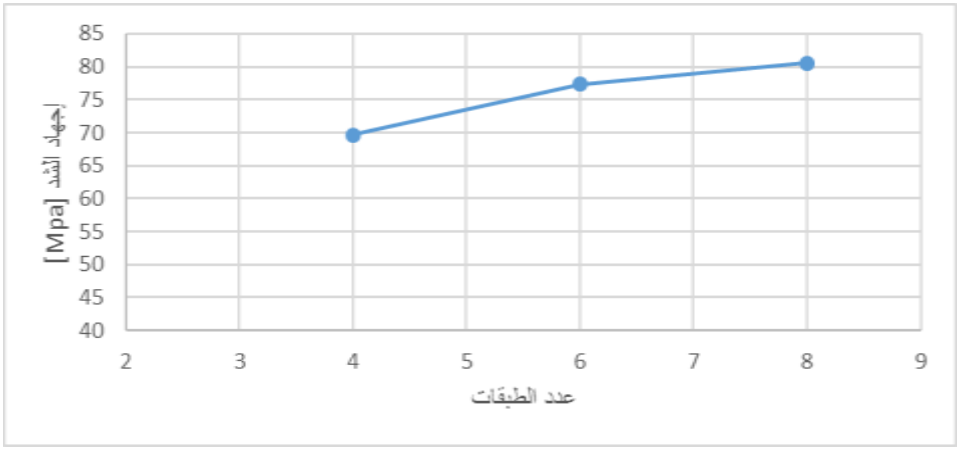
تظهر الأشكال (من الشكل (18) الى الشكل (20)) قيم إجهاد الشد عند الانكسار بدلالة كل من طبقات التسليح ونسبة المادة البادئة البيروكسيدية (MEKP) وكما هو واضح ازدياد قيم مقاومة الشد بزيادة عدد طبقات التسليح كما ونلاحظ أن نسبة البيروكسيد المضافة تؤثر بشكل واضح على هذه القيم وأن أفضل القيم هي لتلك العينات التي تحتوي على 1% بيروكسيد. إن هذه النتيجة غير متوقعة بسبب عدم توافقها مع التوصيات المرفقة مع المادة الأولية وهي أن أفضل قيمة لمادة البيروكسيد 1.5%.



الشكل (18): منحني تغير إجهاد الشد عند الانقطاع بدلالة عدد طبقات الألياف الزجاجية العشوائية لمركبات UPR الحاوية على 1% catalyst



الشكل (19) – منحني تغير إجهاد الشد عند الانقطاع بدلالة عدد طبقات الألياف الزجاجية العشوائية لمركبات UPR الحاوية على 1.5% catalyst



الشكل (20): منحني تغير إجهاد الشد عند الانقطاع بدلالة عدد طبقات الألياف الزجاجية العشوائية لمركبات UPR الحاوية على 2% catalyst

ينبغي الإشارة هنا إلى أن تفاوت المدة الزمنية بين زمن تحضير العينات وزمن إجراء الاختبار حيث أن العينات الحاوية على (1%) بيروكسيد قد اكتسبت مدة زمنية (حوالي 4 أشهر) أطول من العينات الأخرى الحاوية على (1.5% – 2%) (حوالي 1 شهر) وهذا ما أعطى هذه العينات فرصة أفضل للاقتراب من التصلب الكامل بمفهومه النسبي، وهذا ما يفسر مبدئيا سبب كون نتائج الاختبارات للعينات الحاوية على 1% أفضل من مثيلاتها الحاوية على 1.5%.

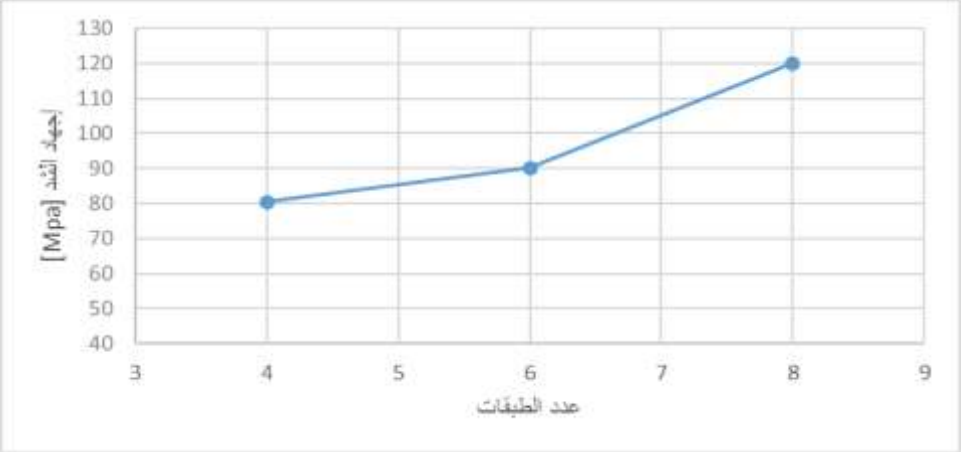
من جهة أخرى أظهرت نتائج اختبار العينات الحاوية على 2% بيروكسيد انخفاض واضح وكبير بقيم اجهاد الشد عند الانقطاع ويؤول السبب في هذا إلى أن الافراط بنسبة المادة البيروكسيدية يساهم في نشوء عيوب على شكل تشققات ميكروية تلعب دور مركزات الاجهاد في البنية وهذا ما سبب انخفاض بقيم إجهاد الشد عند التحطم.

بهدف تجنب تأثير التفاوت الزمني السابق الذكر على نتائج الاختبارات تم إعادة الإختبار باعتماد النسبة 1.5% بيروكسيد المعتمدة في التوصيات المرفقة من الشركة الصانعة و العمل على إجراء المعالجة الحرارية اللاحقة مباشرة بعد تصنيع العينات ومراقبة التغيرات المحتملة على قيم اجهاد الشد عند الانقطاع حيث تظهر الدراسات المختلفة أنه يمكن تسريع نضج مزيج البولي استر غير المشبع على اختلاف نسب المواد الداخلة بالتركيب من خلال تحضير

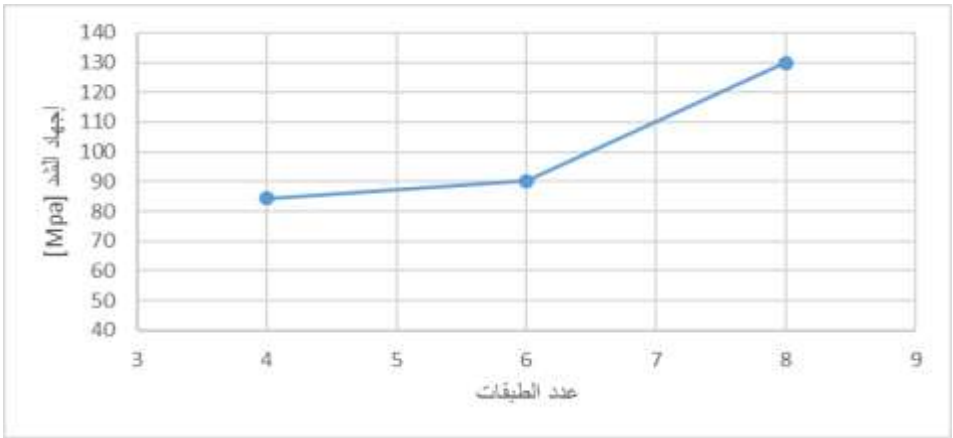
المنتج النهائي في وسط حراري كما هو الحال عند استخدام مواد الدهان الحراري المستخدم في دهان السيارات في وسط درجة حرارته حوالي 60 C° بهدف تسريع تصلب طبقة الدهان وحسب ذلك فقد قمنا باعتماد نظام المعالجة التالي:

1. درجة حرارة المعالجة الحرارية 60 °c وهذه الدرجة الموصى بها من قبل العديد من الدراسات العلمية [5]
2. زمن المعالجة الحرارية hour (2,24,48,72).

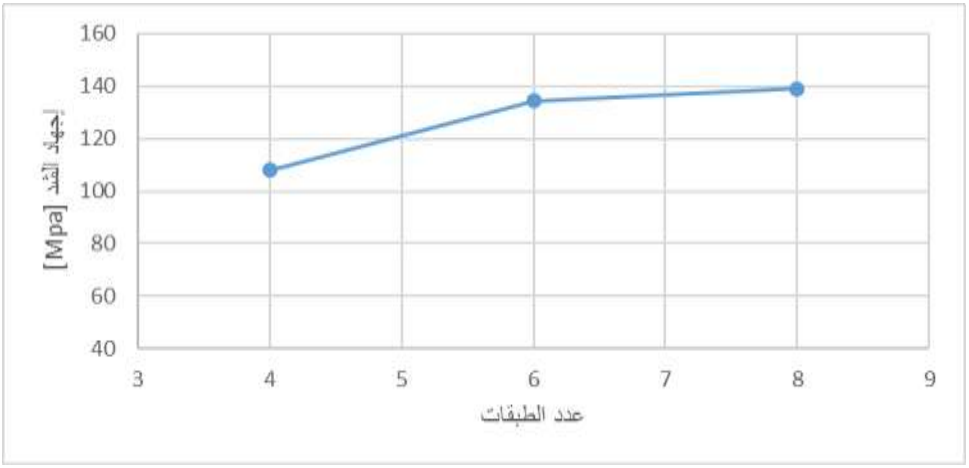
أظهرت نتائج اختبار الشد عند الانقطاع وجود تأثيرات واضحة لنظام المعالجة المعتمد على الخاصية المدروسة حيث تظهر الأشكال (من (21) الى (24)) التالية تحسن الخاصية المدروسة.



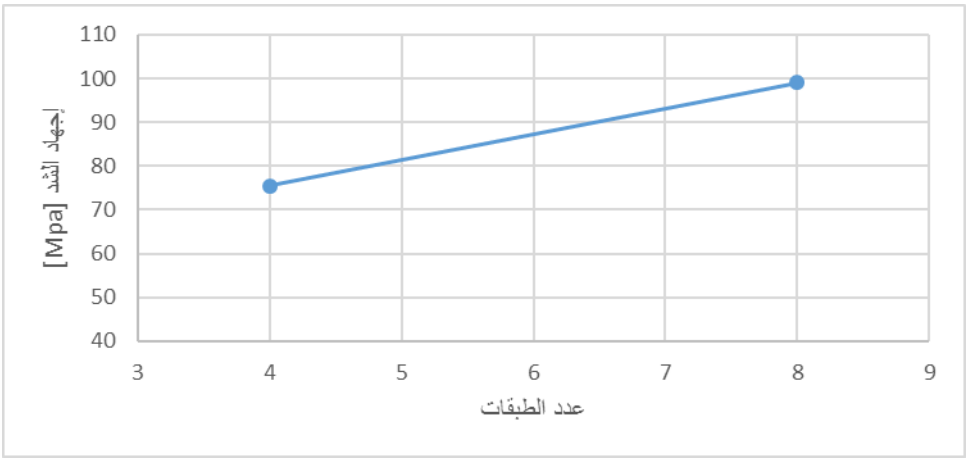
الشكل (21): تغير إجهاد الشد عند الانقطاع لمادة البولي استر غير المشبع المسلح بالألياف الزجاجية عند نسبة مادة بادئة 1.5% بعد 2 ساعة معالجة حرارية



الشكل (22): تغير إجهاد الشد عند الانقطاع لمادة البولي استر غير المشبع المسلح بالألياف الزجاجية عند نسبة مادة بادئة 1.5% بعد 24 ساعة معالجة حرارية



الشكل (23): تغير إجهاد الشد عند الانقطاع لمادة البولي استر غير المشبع المسلح بالألياف الزجاجية عند نسبة مادة بادئة 1.5% بعد 48 ساعة معالجة حرارية



الشكل (24): تغير إجهاد الشد عند الانقطاع لمادة البولي استر غير المشبع المسلح بالألياف الزجاجية عند نسبة مادة بادئة 1.5% بعد 72 ساعة معالجة حرارية

أظهرت نتائج المعالجة الحرارية تحسنا واضحا في قيم اجهاد الشد عند الانقطاع وأن أفضل قيم لمقاومة الشد عند الانقطاع هي للعينات المعالجة لزمن قدره / 48 hours/ وهذا دليل على عدم اكتمال نضج المادة عند النسبة 1.5% وضرورة العمل بالبحث عن آليات الاقتراب من النضج الكامل.

ومنه نلاحظ بأن الدراسة التجريبية أظهرت تحسنا واضحا يمكن الحصول عليه عند تعريض العينات لمعالجة حرارية بالدرجة 60 C° ولزمن قدره 48 hours والسبب يؤول الى مساهمة درجة الحرارة في تنشيط نشوء الجذور الحرة في المزيج، حيث أن عملية التصلب على البارد يتطلب زمنا أكبر للإقتراب من التصلب الكامل وتحتاج إلى أوساط معالجة فيزيائية تساعد على استكمال عملية التصلب أو الى فترات تخزين طويلة قبل الاستثمار.

ومع ذلك لايمكن الجزم أن النظام الحراري المعتمد في البحث يؤدي للحصول على منتجات كاملة النضج، وإن التحسن الذي طرأ على مقاومة الشد عند الانقطاع نتيجة لنظام المعالجة المتبع يحسن من خواص بنية UPR ويجعلها أكثر ثباتا ومقاومة لتأثير إجهادات الشد.

ويبقى البحث عن نظام المعالجة الأنسب مجالا مفتوحا للبحث العلمي بحيث يسعى الباحثون دوما لتقديم نظام معالجة يحقق القيم الأفضل لمقاومة الإجهادات بما يتناسب مع تركيب المزيج الداخل في التصنيع.

الاستنتاجات والتوصيات:

وتلخص بالنقاط التالية:

1 يمكن التحكم بعملية التصلب لمادة البولي استر غير المشبع من خلال التحكم بنسب المواد البادئة والمسرعة المضافة للمزيج.

2 –أن النسب التي تحقق أزمنة تجلتن وتصلب منخفضة تعتبر صالحة للاستخدام في التطبيقات اليدوية كالدهان اليدوي.

3 أظهرت الدراسة التجريبية إن عملية التصلب تتأثر بوضوح باختلاف نسب المادة البادئة.

4 إن تأثير نسب هذه المواد يظهر بوضوح على سرعة عملية التصلب وبالتالي على الخواص الميكانيكية كإجهاد الشد والاستطالة النسبية.

5 بينت نتائج اختبار الشد أن النسب المعتمدة في البحث والملائمة لعملية تصنيع شفرة عنفة ريحية من مادة البولي استر غير المشبع المدعمة بالألياف عند التصلب بدون اجراء أي عملية معالجة حرارية مباشرة أنها تعطي قيم منخفضة لإجهاد الشد عند الانقطاع مقارنة مع العينات التي تم تعريضها الى معالجة حرارية وهذا يدل على عدم حصول نضج كامل للمزيج مما أدى إلى انخفاض في الخاصة الميكانيكية المدروسة.

6 بينت النتائج أيضا أنه عند الاستمرار في تطبيق المعالجة الحرارية لفترة زمنية طويلة نسبيا حتى 72 hours تبدأ قيم إجهاد الشد عند الانقطاع بالإنخفاض وبشكل كبير نسبيا وهذا دليل واضح على أن الاستمرار في التسخين أدى الى ازدياد شدة التفاعلات الحاصلة ضمن المزيج وازدياد في هشاشة تركيب البولي استر غير المشبع الأمر الذي انعكس على قيم خصائص الشد وسبب انخفاضها.

وبناءً على الاستنتاجات نوصي بما يلي:

1 – البحث في طرق الوصول إلى التصلب الكامل لمادة البولي استر غير المشبع وبالتالي تحسين الخواص الفيزيائية للمنتج.

2 – إجراء دراسات تجريبية موسعة تلائم طبيعة الاجهادات المختلفة التي تتعرض لها شفرة التوربين الريحي.

المراجع:

[1] European Renewable Energy Council-Renewable energy target for Europe – 20% by 2020. Briefing paper, 2004. < http://www.erec-renewables.org >.

[2] K.SURESH BABU, N.V.SUBBA RAJU, M.SRINIVASA REDDY, D. NAGESWARA RAO *THE MATERIAL SELECTION FOR TYPICAL WIND TURBINE BLADES USING A MADM APPROACH& ANALYSIS OF BLADES*. SRKR Engineering College, Bhimavaram , June, 2006, 1-6.

[4] MISHNAEVSKY JR, L. *composite materials in wind energy technology*. University of Denmark, Roskild, Denmark, 2011, 11-24.

[5] XIA CAO, JAMES LEE. L. *Effect of dual-initiator on low temperature curing of unsaturated polyester resins*. Department of chemical Engineering, The Ohio State University, VOl 13,2005, 1-10.

[6] OSMAN .E.A and VAKHGUELT .A. *curing behavior and tensile properties of unsaturated polyester containg various styrene concentration*. 2012, 1

[7] KYTOPOULOS.V.N. *buckling of symmetric laminated fiberglass reinforced plastic (FRP)*. University of Pittsburgh, Applied composite Materials 13, 2003, 1-22.

[8] BALEY.C, PERROT.Y *mechanical properties of composities based on low styrene emission polyester resin*. 2006, 1-14

[9] *Hand lay-up of fiber glass parts on a mold* < www.fgci.com/pdf/hand lay.pdf > , 2013

[10] HAYATY.M, HOSSEIN.B.M. *Shrinkage cure cure characterization and processing of unsaturated polyester resin containing PVC c low-profile additive*. Iranian polymer Journal , 13 (5), 2004, 389-396.

[11] JEFFERY.E, HONEYCUTT.A.H *Reactive Co promoter for unsaturated polyester resins*. Composities Research Journal, Vol 2, 2008, 1-34.