Studying of Varying for Some Mechanical Properties of Blend of Unsaturated Polyester Resin with Chloroprene and Natural Rubber Solutions

Yasser Youssef Karafallah*

(Received 26 / 8 / 2019. Accepted 19 / 12 / 2019)

□ ABSTRACT □

Thea aim of this paper is modify of general purpose unsaturated polyester resin UPE (improve of elasticity) by adding Rubber solution, and find what are the varies some of physical and mechanical properties of results blends.

For execution this aim we are blended unsaturated polyester resin UPE with either Chloroprene Rubber solution (CRL) or Natural Rubber solution (NRL) with different weight ratios (2, 5, 7, 10 and 15) % of (CRL or NRL).

Results of tests are shown clear improvement for elongation at break (for all samples) with increasing of Rubber solution in the blend, as are shown series decreasing to some of mechanical properties (Tensile strength and Young's modulus values).

Morphology study was made of fracture surfaces for samples by using scanning electron microscope SEM. it is clearly that the fracture surface will change to become dull and fibrous after blending (UPE) with (NRL or CRL), it is obviously that there are two regions were foundand phase separation between the two polymers is greater for UPE-NR .

Keywords: Unsaturated polyester resin GP grade UPE, blend, Chloroprene Rubber solution CRL, Nature Rubber solution NRL, Mechanical Properties, Tensile resistance, Young's modulus, scanning electron microscope SEM.

* **Master - Al-Hhemk College - Tishreen University - Lattakia - Syria**

e-mail yahfall@yahoo.com

دراسة تغير بعض الخواص الميكانيكية لمزيج من ريزين بولي استر غير المشبع المعدل بمحلول مطاط الكلوروبرين أو المطاط الطبيعي

ياسر يوسف قره فلاح*

(تاريخ الإيداع 26 / 8 / 2019. قُبِل للنشر في 19/ 12 / 2019)

□ ملخّص □

إن الهدف من هذا البحث هو تلدين ريزين البولي استر غير المشبع للأغراض العامة GP grade UPE resin بإجراء إضافة المادة الملدنة (محلول مطاطي)، وذلك لدراسة بعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمزائج الناتجة.

لتحقيق هذا الهدف تم تحضير مزيج بوليميري ثنائي بين ريزين البولي استر غير المشبع مع كل من محلول مطاط الكلوروبرين ومحلول مطاط طبيعي بنسب وزنية مختلفة (2، 5، 7، 10، 15 %).

أظهرت نتائج الاختبارات تحسن واضح بالاستطالة النسبية لكافة العينات بزيادة نسبة المحلول المطاطي المضاف، كما أظهرت انخفاض متتالي بخواص الشد (مقاومة، معامل يونغ).

تم إجراء دراسة مورفولوجية للعينات باستخدام تقنية الماسح الإلكتروني الضوئي SEM لسطح الكسر لعينة شد من الخلطة UPE-CR وأخرى من الخلطةUPE-NR حيث ظهر التجانس الجيد في بنية المزيج للعينة الأولى مقابل انفصال طفيف في الطور للعينةUPE-NR.

الكلمات المفتاحية: ريزين البولي استر الغير المشبع، مزيج، محلول مطاط كلوروبرين، محلول مطاط طبيعي، خواص ميكانيكية، مقاومة الشد، معامل يونغ، الماسح الإلكتروني الضوئي.

* ماجستير– كلية الهمك– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية. بريد الكتروني yahfall@yahoo.com

مقدمة:

يستعمل ريزين البولي استر غير المشبع Unsaturated Polyester Resin GP grade (UPE) بكثرة في المواد المركبة والبلاستيكية المقواة بالألياف، حيث يمتاز بخواص ميكانيكية جيدة واستقرارية بالأبعاد، وقابلية ترابط جيدة مع مواد أخرى مختلفة، بالإضافة إلى عازلية كهربائية وحرارية جيدة، وجودة عالية للسطح بعد التصلب، إلا أن المشكلة في استخدام هذا النوع من الريزينات المتصلبة حرارياً هي العيوب التي تبدأ بالظهور على شكل شقوق ميكروية في الريزين المعالج، وهذا يعود إلى كون ريزين البولي استر يصبح مادة قاسية جداً وقصفة بعد حصول تصالب الشبكة البوليميرية، وهذا الأمر يعود إلى اللدونة المنخفضة للريزين[1,2].

تظهر بعض التطبيقات الخاصة التي تتطلب متانة صدم وتمزق عاليتين نسبياً الحاجة إلى تحسين لدونة الريزين، ويتم ذلك عن طريق مزجه بمحلول مطاطي Rubber solution .

تم تلدين ريزين البولي استر الغير مشبع للأغراض العامة بإجراء إضافة المادة الملدنة(محلول مطاطي)، وذلك لتحقيق بعض متطلبات الأداء العالي للريزين UPE (تخفيض قصافة الريزين القاسي brittleness) [4]، حيث يتم انحلال قطع من المطاط بمحل عضوي (تولوين مثلاً)، ومن ثم تمزج مع الريزين UPE وإجراء عملية خلط ميكانيكي للمزيج في جميع المراحل.

يجب الانتباه إلى التوافقية بين مكونات المزيج لأنه إذا لم يكن هناك درجة عالية للتوافقية فإن مستوى الاندماج بين السائل المطاطي والريزين UPE لا يكون جيداً وبالتالي لا تتحسن الخواص المرجوة للبوليمير الجديد(المزيج)[6].

تم إجراء التجارب في جامعة تشرين – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، أما الاختبارات فقد تمت في مركز الدراسات والبحوث العلمية في محافظة حماه وهيئة الطاقة الذرية.

أهمية البحث وأهدافه:

إن ريزينات البولي استر غير المشبعة التي تستخدم للأغراض العامة GP grade UP resin هي من الريزينات المتصلبة حرارياً، التي تصبح عند المعالجة والتصلب هشة، ولكن الهشاشة لهذا النوع من الريزينات تعتبر غير ملائمة في كثير من تطبيقات المواد البلاستيكية والمركبة المعززة بالألياف لكونها سبباً لحدوث الانهيار في البنية (يمتلك هذا الريزين غير المشبع طاقة ضعيفة لامتصاص الصدمات).

أظهرت الدراسات المرجعية التي تتناول موضوع تلدين بنية ريزين البولي استر غير المشبع أن الموضوع مازال إلى وقتنا الحالي قيد الدراسة والتقصي، حيث استخدم في بعض التطبيقات منذ القرن الماضي مزائج بين ريزين بولي استر غير مشبع UPE مع مادة لدنة (سوائل مطاطية) لتحسين خواص الصدم. إن كثافة التشابك بالبنية هي أقل بشكل كبير مما هي عليه في الريزين لوحده، لذلك تزداد كل من اللدونة والمتانة على الصدم إلى حد كبير نسبياً، ولكن لسوء الحظ وفي نفس الوقت تنخفض كل من القساوة، معامل المرونة، مقاومة الشد[2,8].

يوجد عدة طرق لتعديل الريزين UPE بإضافة سوائل مطاطية، ومن بينهما طريقة مستعملة بشكل واسع تقوم على انحلال سائل مطاطي فعال في الريزين السائل والمعالجة. يجب أن ينحل المطاط ضمن الريزين السائل ويترسب أثناء تفاعل المعالجة ، مشكلاً توزع جيد وناعم لجزيئات المطاط وهذا ما يعرف بالتعديل الفيزيائي للريزين وفيه يتم انتشار المطاط السائل أو الصلب في الريزين ، وذلك بوجود مضافات محددة للسائل المطاطي يمكن ان تكون قابلة للانحلال

في الريزين غير المعالج أو يحدث انفصال بالطور أثناء المعالجة (وهذا موضوع جوهري يجب الاهتمام به عند انتقاء المضافات للمحلول المطاطي)[2,5].

لكن بسبب البنية الكيميائية المتباينة بين الريزين والمطاط (مهما كان نوعه)، فإن مكونات المطاط لاتنتشر بشكل منتظم داخل بنية الريزين (عدم وجود توافقية) وبالتالي عدم التحسن في الخواص الميكانيكية للمزيج البوليميري[2].

إن التوافقية بين مطاط CR وريزين بولي استر ليست الأفضل بين مختلف أنواع المطاط بسبب أن موقع عدم الإشباع في جزيئات المطاط يحتجز بواسطة ذرات الكلور الكبيرة، والتي تحول دون حصول تصالب بين سلاسل المطاط أو بين سلاسل الريزين والمطاط[2,3].

وللتغلب على هذه اللاتوافقية بين الريزين والمطاط نجري بعض التعديل الكيميائي لأحد المكونات وذلك لإنشاء رابطة كيميائية بينهما، ولكن تعتبر هذه العمليات معقدة وغير سهلة التطبيق.

وبما أنه عملية إنشاء روابط كيميائية صعبة، فنلجأ إلى إنشاء روابط فيزيائية وذلك من منطلق أن مسألة التوافق مرتبطة بدرجة انحلالية كل من المطاط والريزين في المذيب الفعال الموجود ضمن بنية الريزينUPE (الستيرين)، فالانحلالية الجيدة تؤدي إلى انتشار جيد وبالتالي حصول تجانس أفضل في البنية[6].

من هنا وجب علينا استخدام محل عضوي مناسب لكل من جزيئات المطاط والريزين يعمل على إحداث روابط مشتركة بينهما تساهم في تحسين التوافقية بين المادتين (تبين بالتجريب أن الإيتانول هو أفضل محل عضوي يعمل على حل كل من جزيئات المطاط والريزين بشكل جيد حيث تتشكل روابط فيزيائية بينهما مما يمكننا القول بأن مستوى التوافقية بين المادتين قد زاد).

أجريت محاولات كثيرة لتحضير ريزين البولي استر الغير مشبع بإضافة سوائل مطاطية باستخدام عوامل انتشار مختلفة (مركب سلفات لوريل الصوديوم، مادة التولوين، أو سائل الأمونيا)[2,3,5].

يجب ان تتمتع المواد المطاطية التي تستخدم لتعديل ريزين بولي استر غير المشبع بالخواص التالية :

- توافقية حرارية وديناميكية مع ريزين بولي استر غير المشبع.
- يجب أن يحتوي المطاط على مجموعات قطبية كافية لضمان الانحلالية الجيدة في مونومير البولي استر غير المعالج.
- المجموعات القطبية الموجودة في المطاط يجب أن تكون ذات جاذبية قوية للمواد المعززة.
- يجب ان يجعل معدل تفاعل تصالب الشبكة البوليميرية بطيئ كي يسمح بإحداث توزيع للجزيئات المطاطية غير المترابطة أثناء عملية التصالب (وهذا محقق بسبب كون زمن المعالجة المطاط أكبر من زمن معالجة الريزن النقي).
- يجب أن يكون المطاط ذو وزن مولي كبير نسبياً.

في دراسة أخرى أجريت في عام [2008] لدراسة تعديل سلوك التخميد الديناميكي لريزين بولي الاستر عن طريق مزجه بالمطاط SBR بنسب (1،5،10 %) وإجراء اختبارات الانحناء، وبالنتيجة حصل زيادة طفيفة في مقاومة الانحناء وزيادة مقدارها 50% في معامل الانحناء بالنسبة لخلطة 1%، في حين انخفضت مقاومة الانحناء بمقدار 40% وزيادة معامل الانحناء بمقدار 22% في حالة خلطة 5%، وهذا يرجع إلى كون الروابط البينية بين جزيئات المطاط والريزين قوية في المزيج ، أما في حالة خلطة 10% شكلت جزيئات المطاط أطوار منفصلة واضحة ضمن بنية الريزين الذي بدوره أدى إلى انخفاض كبير في مقاومة الانحناء وانخفاض بسيط في معامل الانحناء [2].

في دراسة حديثة أجريت في عام 2015 لتغير مقاومة الشد ومقاومة التمزق لمزيج بوليميري من ريزين بولي استر غير المشبع مع المطاط النتريلي أن قيم مقاومة الشد ومعامل يونغ تتناقص بعد مزج الريزين بالمطاط النتريلي بنسب (5-10-15 %)، بينما معدلات الانفعال تزداد بعد المزج[3].

في دراسة أخرى أجريت في عام 2008 لدراسة مزائج بين المطاط الطبيعي مع ريزين البولي استر غير المشبع تبين أن مدى عدم الإشباع في ريزين البولي استر يؤثر سلباً على الخواص الفيزيائية للمزيج الناتج(مثال القساوة)[5].

طرائق البحث ومواده:

بناءً على الدراسات المرجعية فإن الهدف الأساسي من بحثنا هو دراسة بعض الخواص الميكانيكية وإجراء الدراسة المورفولوجية لمزيج من راتنج البولي استر غير المشبع UPE مع سائل من مطاط الكلوروبرين (Chloroprene Rubber solution)، أو سائل من المطاط الطبيعي (Nature Rubber solution)، وبنسب مختلفة، وذلك كمحاولة للمساهمة في الاستفادة من المواد الصناعية المتوفرة بأسواقنا المحلية والزهيدة الكلفة نسبياً، ومقارنة بعض الخواص الميكانيكية للريزين الصافي والريزين الملدن بسائل المطاطي.

المواد الأولية:

* ريزين البولي استر غير المشبع للأغراض العامة GP grade UPE resin: هو سائل لزج شفاف عند درجة حرارة الغرفة وهو أحد أنواع البوليميرات المتصلبة حرارياً (Thermosets) كثافته 1200 kg/m^3 من شركة Fosroc Chemicals India Ltd الهندية[1,7].

* المسرع : نفتانات الكوبالت Cobalt Naphthenate – وهي مادة أساسية تعمل على تسريع تفاعل معالجة ريزين البولي استر غير المشبع والسماح له بالإتمام في درجة حرارة جو العمل بوجود المقسي، مشكلاً في النهاية المادة الصلبة المعالجة.

* المقسي : ميتيل إيتيل كيتون بيروكسيد ورمزه (MEKP): وهو على شكل سائل شفاف سيتم إضافته بنسبة (2 %) إلى ريزين البولي أستر غير المشبع عند درجة حرارة الغرفة (وهي النسبة الأمثلية لتصلب جزيئات الريزين، وهذا ماتؤكده معظم الأدبيات).

* محلول مطاط كلوروبرين من شركة KENDA FARBEN الإيطالية تم ترميزه بـ CRL [8].

* محلول مطاط طبيعي مجهز في الورشة باستخدام مطاط طبيعي خام ومحل عضوي(إيثانول) تم ترميزه بـ NRL.

يبين الجدول (1) بعض الخواص الفيزيائية للمحاليل المطاطية المستعملة.

الجدول (1) الخواص الفيزيائية للمحاليل المطاطية المستخدمة

الخاصية	محلول مطاط كلوروبرين CRL شركة KENDA FARBEN	محلول مطاط طبيعي NRL
الحالة الفيزيائية	سائل	سائل
لون المحلول	أصفر باهت	أصفر
الكثافة	–	–
الانحلالية	باستخدام محل عضوي (تولوين أو كزايلن)	باستخدام محل عضوي (تولوين)
المحتوى الصلب	يتم قياسها قبل بداية كل عينة	يتم قياسها قبل بداية كل عينة
اللزوجة	تتعلق بنسبة المذيب	تتعلق بنسبة المذيب

2- تحضير العينات:

تم أولاً خلط ريزين البولي استر الغير مشبع UPE مع المسرع بنسبة 0.5% بواسطة خلاط ميكانيكي بسرعة خلط تزداد بالتدريج حتى 1000 دورة /دقيقة، وزمن خلط إجمالي 2 دقيقة.

تم بعد ذلك إضافة المحلول المطاطي مع الخلط بسرعة تزداد بالتدريج حتى 1000 دورة /دقيقة وزمن خلط إجمالي10 دقيقة.

تم أخيراً وضع المقسي MEKP بنسبة 2% والخلط على عدة مراحل بسرعة حتى 1000 دورة /دقيقة (الزيادة بالتدريج) وزمن خلط إجمالي3 دقيقة إلى أن يتجانس الخليط.

ملاحظة 1: نشير إلى أن بارامترات الخلط المختلفة تم تثبيتها بناءً على الدراسات التجريبية الأولية المكثفة التي أجريت على المواد لتحديد القيم الأمثلية لزمن الخلط وسرعته، حيث تم ملاحظة عدم حصول التجانس التام في المزيج عند استخدام سرعات خلط أقل من ذلك حتى مع زيادة زمن الخلط.

تم تحضير عدة خلطات من المزائج بين الريزين UPE مع كل من محلول مطاط الكلوروبرين المتوفر في الأسواق العالمية ومحلول المطاط الطبيعي الذي تم تحضيره ابتداءً من المطاط الطبيعي الخام بنسب وزنية مختلفة (0، 2، 5، 7، 10، 15 %) وإجراء بعض الاختبارات الفيزيائية والحرارية والميكانيكية .

ملاحظة 2: تم تحضير مزائج ريزين البولي استر غير مشبعUPE – محلول مطاطي بنسب وزنية مختلفة (وذلك بعد معرفة المحتوى الصلب للمطاط في المحلول).

يتم صب المزيج المحضر في قوالب العينات من أجل توصيفها.

بغرض إكمال الربط التقاطعي بشكل تام وتقليل نسبة التقلصات وزيادة الترابط بين جزيئات المادة يتم وضع الريزين بعد تصلبه داخل فرن كهربائي في درجة حرارة 60^oC مدة 2-3 ساعة وتسمى هذه العملية بالمعالجة السريعة (PostCuring)، وبعد إتمام هذه العملية تصبح عينة الريزين جاهزة للفحص والاستخدام[1,6,9].

3- طرق القياس

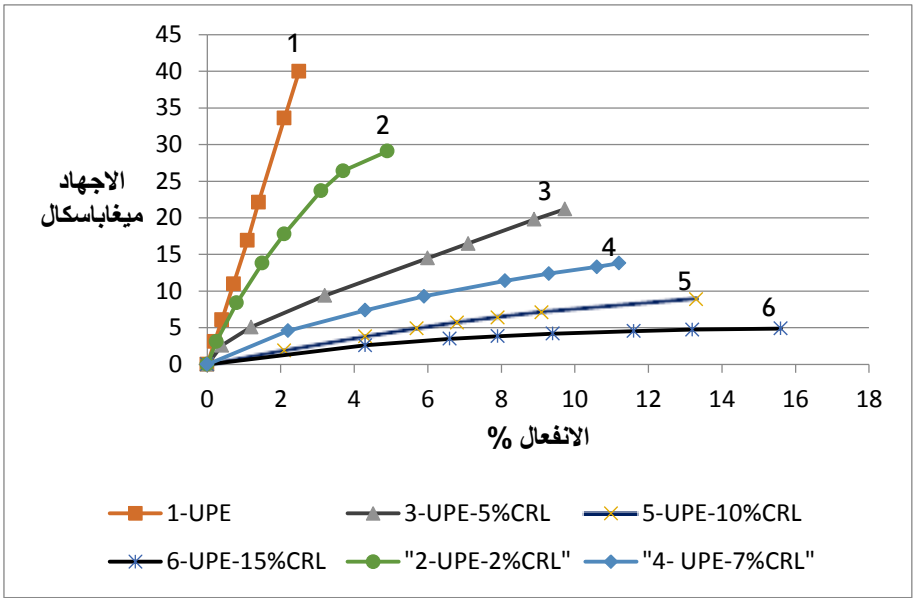
- خصائص الشد Tensile characteristics: تمت اختبارات الشد للعينات باستخدام آلة الاختبار العامة وفق المقياس المرجعي ASTM D638 [4,9].

النتائج والمناقشة:

تساهم مواد الإضافة على اختلاف أنواعها عند إضافتها لمواد الأساس البوليميرية إلى إكسابها مواصفات خاصة لم تكن تمتلكها، وهي تتوزع عادة على مستوى التراكيب الجزيئية أو فوق الجزيئية، ويمكن لهذه المواد المضافة أن تشكل روابط فيزيائية أو كيميائية مع مادة الأساس، وبناءً على ذلك يحدث تغير بالخصائص النهائية في المنتج النهائي.

يعتبر ريزين البولي استر غير المشبع من المواد الهشة ذو لدونة منخفضة جداً، وقد أظهرت الدراسات المرجعية والتجريبية أن القيم العظمى للانفعال عند التحطم تحت تأثير إجهاد شد مطبق تبلغ 2,5 %.

أظهرت النتائج التجريبية أن إضافة مطاط البولي كلوروبرين السائل إلى ريزين البولي استر غير المشبع UPR يؤدي إلى تعديل بنيته، حيث يلاحظ من الشكل (1) حدوث تغيرات واضحة ببعض القيم المميزة الخاصة باختبار الشد، حيث أن قيم الانفعالات النسبية عند الانقطاع بفعل الشد تزداد بشكل واضح ومتتالي مع زيادة نسبة مطاط البولي كلوروبرين السائل.

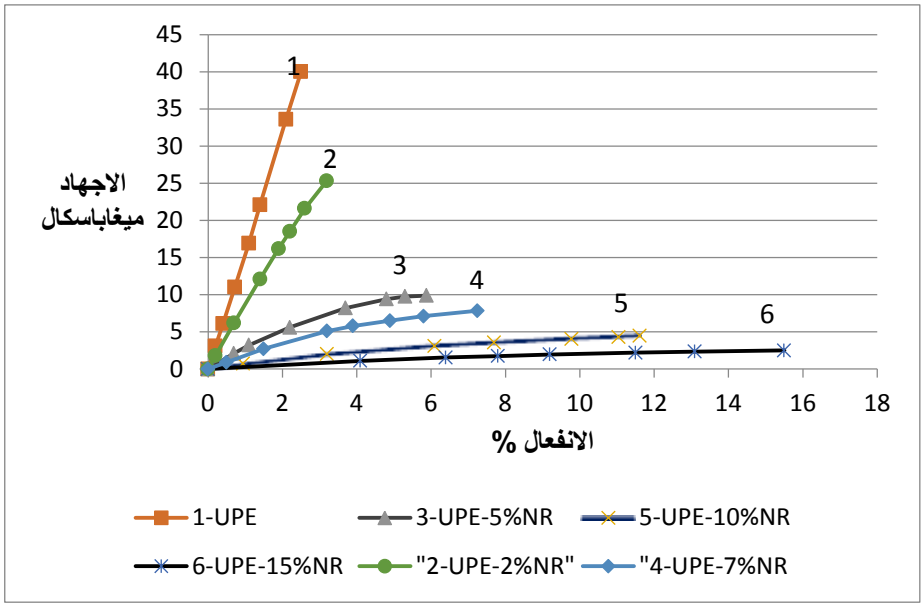


الشكل (1) منحنيات الإجهاد –الانفعال لمركبات البولي استر غير المشبع –الملدن بدلالة نسبة مطاط الكلوروبرين السائلCRL

كما ونلاحظ حدوث انخفاض واضح ومتتالي بقيم إجهاد الشد عند الانقطاع مع زيادة نسبة المطاط، مع ميل واضح لمنحنيات (الإجهاد–الانفعال) للتحول التدريجي إلى السلوك المطاطي حيث يؤشر على هذه ازدياد واضح بقيم الانفعال النسبي بمقدار يزيد بحوالي 6 مرات تقريباً بزيادة نسبة مطاط البولي كلوروبرين حتى 15 % يرافقه انخفاض واضح بقيم إجهاد الشد عند الانقطاع بمقدار أكبر من 8 مرات تقريباً عند نفس النسبة.

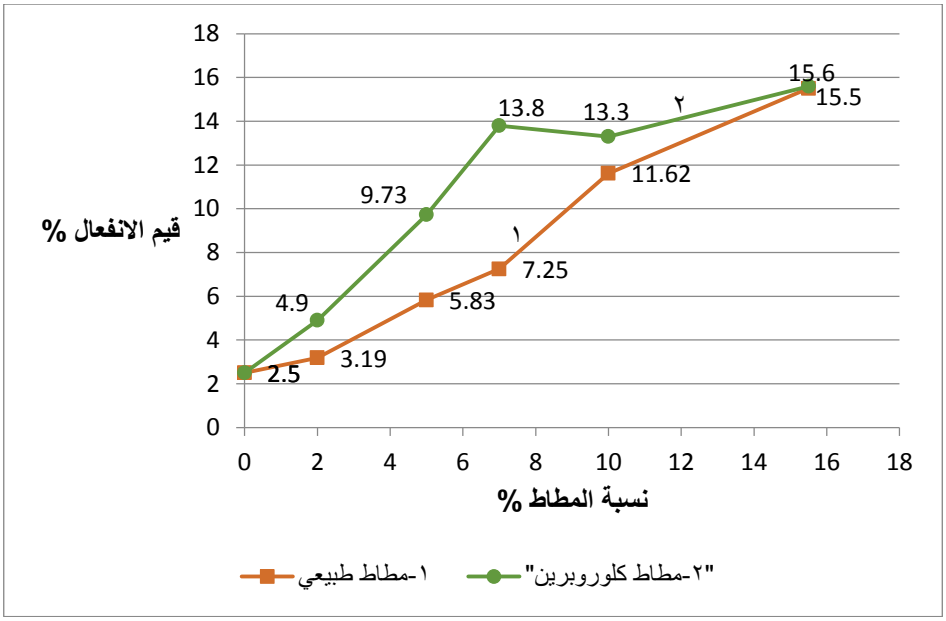
أجريت بشكل مشابه دراسة لتعديل بنية UPR باستخدام المطاط الطبيعي السائل NR، حيث يظهر الشكل (2) تغير منحنيات (الإجهاد–الانفعال) بدلالة نسبة المطاط الطبيعي السائل NR ، وكما هو واضح من الشكل أن تأثير المطاط الطبيعي يبدو مشابهاً لتأثير مطاط البولي كلوروبرين السائل، حيث نلاحظ حدوث تزايد واضح بقيم الاستطالة النسبية بمقدار مساو لتأثير مطاط البولي كلوروبرين، أما مقدار الانخفاض الحاصل بمقدار إجهاد الشد عند التحطم فيبلغ حوالي 16 مرة أصغر من القيم المسجلة لريزين البولي استر غير المشبع النقي وذلك عند إضافة 15 % من المطاط الطبيعي السائل.

تظهر هذه النتيجة عدم التوافق والتآلف بين المطاط الطبيعي ومادة ريزين البولي استر غير المشبع UPR بشكل مشابه لمطاط البولي كلوروبرين السائل. وتظهر هذه النتيجة أيضاً أن المطاط الطبيعي يلعب دور المادة الملدنة لأنه يساهم وبشكل كبير في تحسين مقدار الاستطالة النسبية عند إضافته للريزين UPR الهش.



الشكل (2) منحني الإجهاد –الانفعال لعينات البولي استر الغير مشبع –الملدن بمحلول المطاط الطبيعي NR بنسب مختلفة

من خلال مقارنة منحنيات الشكلين (1) و (2) يمكننا بالواقع مقارنة التأثير التلديني لمادة المطاط الطبيعي NR مع مطاط البولي كلوروبرين ويبين الشكل (3) منحنيات تغير قيم الاستطالة النسبية بدلالة نسبة المطاط السائل المضاف.



الشكل (3) منحنيات تغير قيم الانفعال الأعظمي لريزين UPRالمعدل بنسب مختلفة من المطاط السائل

كما هو واضح من الشكل (3) أن زيادة نسبة المطاط الطبيعي السائل يسبب زيادة دائمة بقيم الاستطالة النسبية في حين نلاحظ حدوث استقرار نسبي بهذه القيم عند إضافة مطاط الكلوروبرين السائل CRL اعتباراً من النسبة 7% حتى النسبة 15 %، كما نلاحظ أنه وضمن هذا المجال فإن قيم الاستطالة النسبية تكون أعلى بالمقارنة مع عينات المطاط الطبيعي. تبين هذه النتيجة الاختلاف الواضح بقابلية مزج نوعي المطاط مع الريزين UPR، وعلى الرغم من تشابه

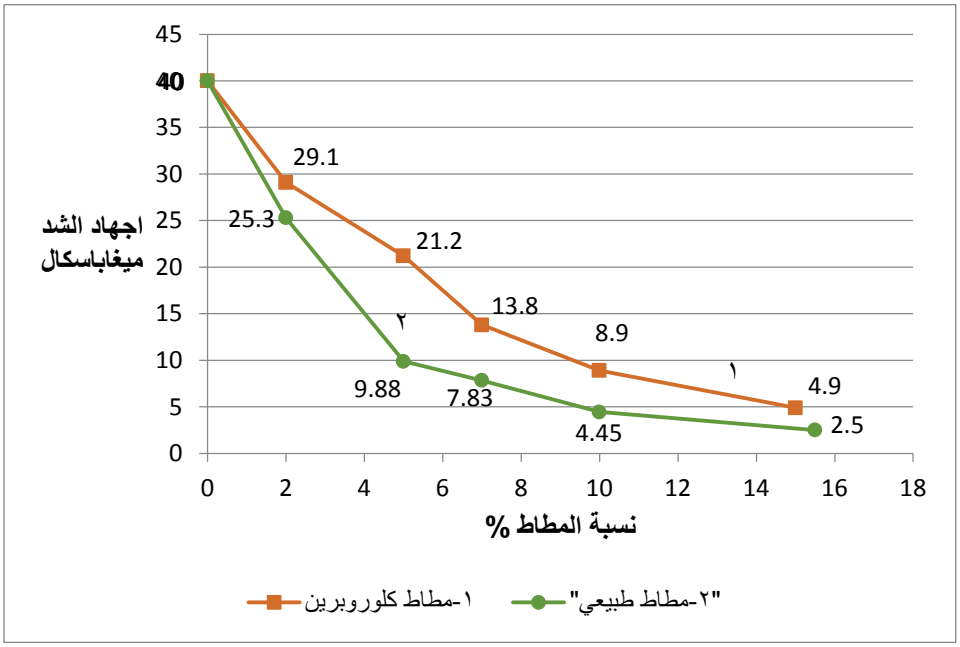
المسارات العامة للمنحنيات، إلا أنه يمكن التأكيد على وجود اختلاف واضح من حيث تآلف الريزين UPR مع النوعين المستخدمين من المطاط.

تبين نتائج الشكل (3) إمكانية استخدام مركب UPR الحاوي على 7 % من مطاط الكلوبرين باعتباره يحتل مكانة وسطية بين UPR النقي والمركب الحاوي على 15 % CRL من حيث قيمة إجهاد الشد عند التحطم.

أظهرت مقارنة تأثير المطاط الطبيعي مع مطاط الكلوروبرين وجود تأثيرات متباينة على قيم الاستطالة النسبية مما يدل على ضرورة رصد البارمترات الأخرى مثل معامل يونغ وإجهاد التحطم على الشد وذلك انطلاقاً من المنحنيين (1و2).

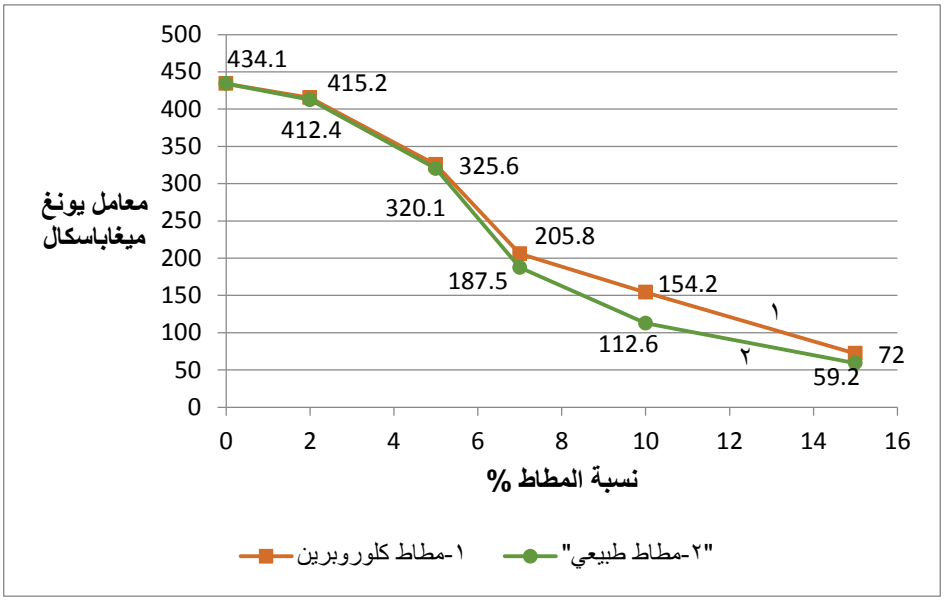
يبين الشكل (4) منحنيات تغير إجهاد الشد عند التحطم بدلالة نسبة المطاط السائل المضاف.

كما هو واضح من الشكل (4) حدوث انخفاض متتالي بقيم إجهاد الشد عند التحطم بزيادة نسبة المطاط السائل، مع ميل نسبي للاستقرار لهذه القيم بعد النسبة 7 %. تؤكد هذه النتيجة على الأثر الضار للمطاط المضاف بنوعيه المختلفين على خواص الشد، وهذا يؤكد على حالة اللا تآلف بين هذين النوعين من المطاط مع الريزين UPR على الرغم من تحقق الهدف من الإضافات المستخدمة وهي تحسين لدونة المنتج النهائي.



الشكل (4) منحنيات تغير مقاومة الشد العظمى لريزين UPR المعدل بنسب مختلفة من المطاط السائل

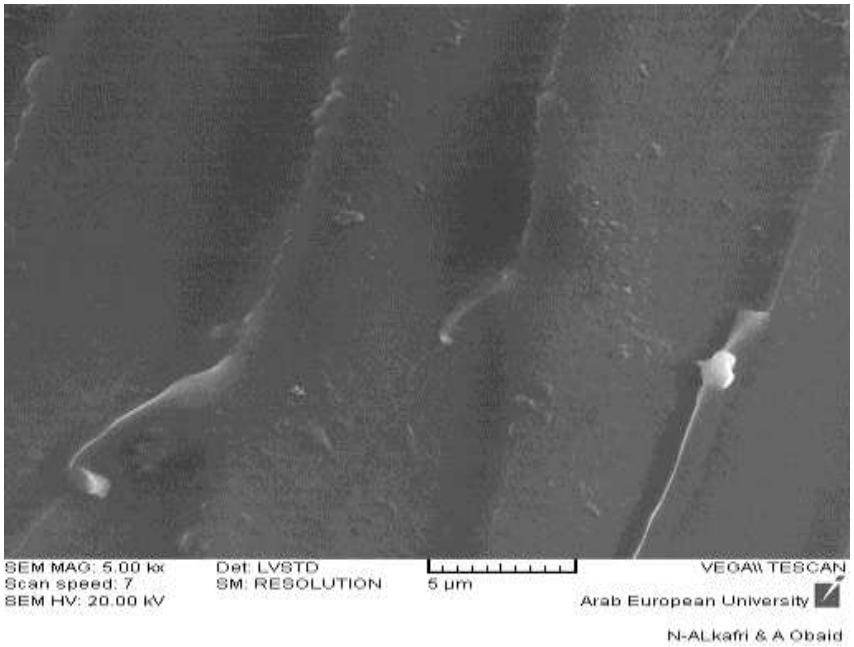
هناك مؤشر آخر على حالة اللا تآلف تقدمه منحنيات الشكل (5) التي تمثل تغير قيم معامل المرونة أو معامل يونغ بدلالة نسبة المطاط السائل المضاف، حيث تشير النتائج المبينة إلى حدوث تطابق بالتأثير لكلا النوعين حتى النسبة 7 % ليلاحظ بعد ذلك حدوث استقرار نسبي بقيم معامل المرونة باستمرار زيادة نسبة المطاط السائل.



الشكل (5) منحنيات تغير معامل يونغ لريزين UPR المعدل بنسب مختلفة من المطاط السائل

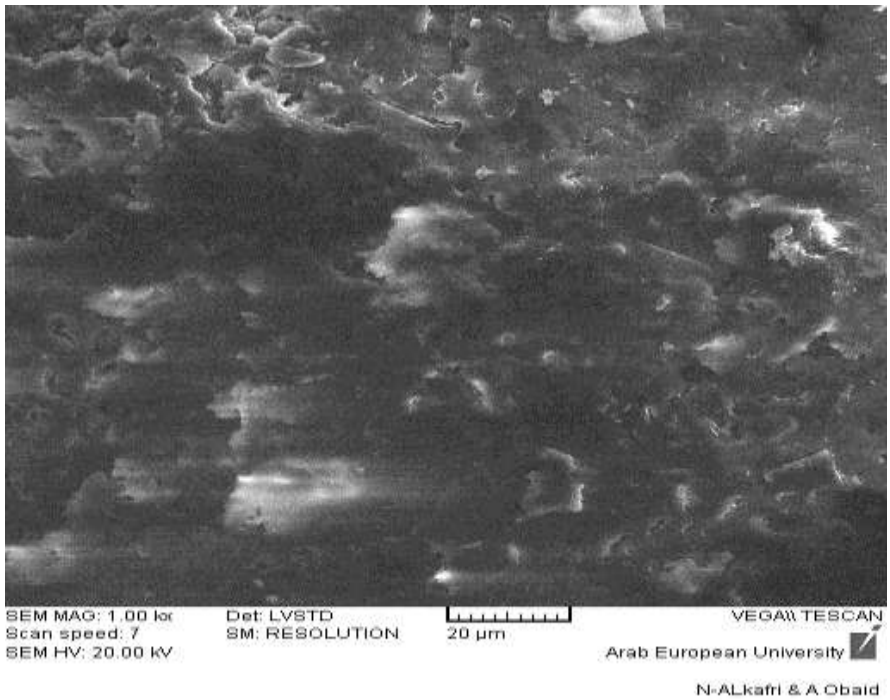
استناداً للقيم التجريبية المذكورة بالأشكال (1و2و3و4و5) أصبح واضحاً الدور الملدن للمطاط السائل من خلال تأثيره على الاستطالة النسبية عند التحطم، أما الانخفاض الحاصل بكافة القيم المميزة لمنحنيات(الإجهاد–الانفعال) فيمكن تفسيره استناداً لتوضع وانتشار المطاط السائل ضمن بنية UPR السائلة، حيث يدل انخفاض قوى الشد عند التحطم إلى أن المطاط السائل يلعب دور طور مستقل عن مادة الأساس البوليميرية مسبباً بذلك حدوث انخفاض بقوى الارتباط بين الجزيئات العملاقة. يمكن بالحقيقة نظرياً أن نقبل أن جزءاً من الطور المطاطي السائل يتوزع ضمن مادة الأساس بشكل منتظم، والجزء الآخر متوزعاً على شكل تكتلات تلعب دور مركزات الإجهاد، التي تزداد نسبتها بزيادة نسبة الطور المطاطي، وهذا ما يفسر الانخفاض الحاصل بالخواص بزيادة نسبة المطاط المضاف.

للتأكد من الاستنتاجات المقترحة في تحليل النتائج السابقة كان لابد من إجراء مسح إلكتروني بهدف تحديد توزع وانتشار المطاط السائل المضاف ضمن كتلة عينات البولي استر المختلفة بعد التصلب ولهذا السبب تم إجراء المسح الإلكتروني لسطوح كسر عينات اختبار الشد، ويظهر الشكل (6) المسح الإلكتروني لعينة البولي استر غير المشبع النقي ، وكما هو واضح وجود تجانس بالبنية.



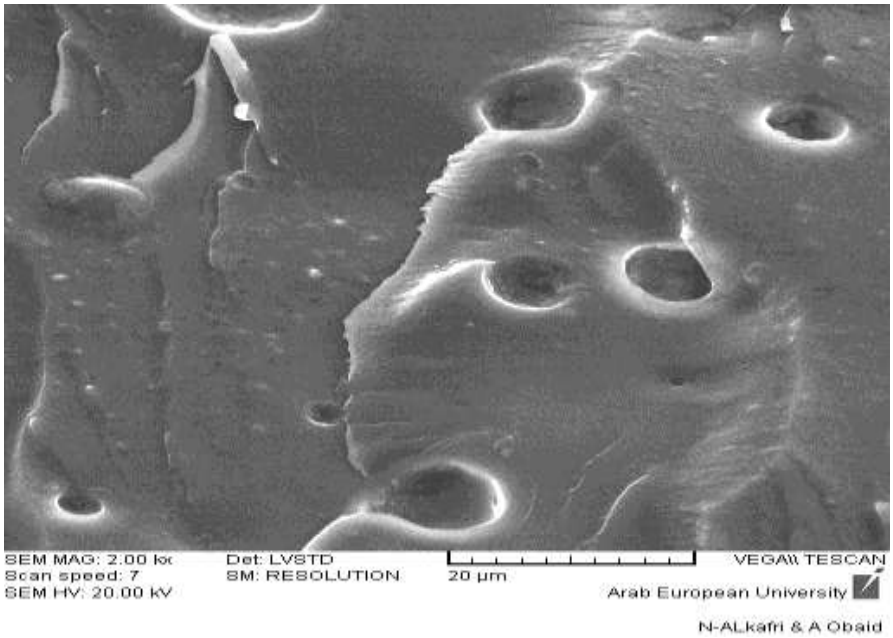
الشكل (6) سطح الكسر الناجم عن اختبار الشد لعينة من ريزين البولي استر غير المشبع

يظهر الشكل (7) أن إضافة 2 % من المطاط الطبيعي بالحالة السائلة إلى ريزين البولي استر غير المشبع UPR يؤدي إلى حدوث تغير واضح بالبنية حيث نلاحظ أن المادة المضافة تتوزع بالبنية بشكل غير متجانس على شكل أطوار مستقلة في بعض المناطق مع وجود انتشار وتوزع جيد جزئي لمادة المطاط على كامل كتلة مادة الريزين.



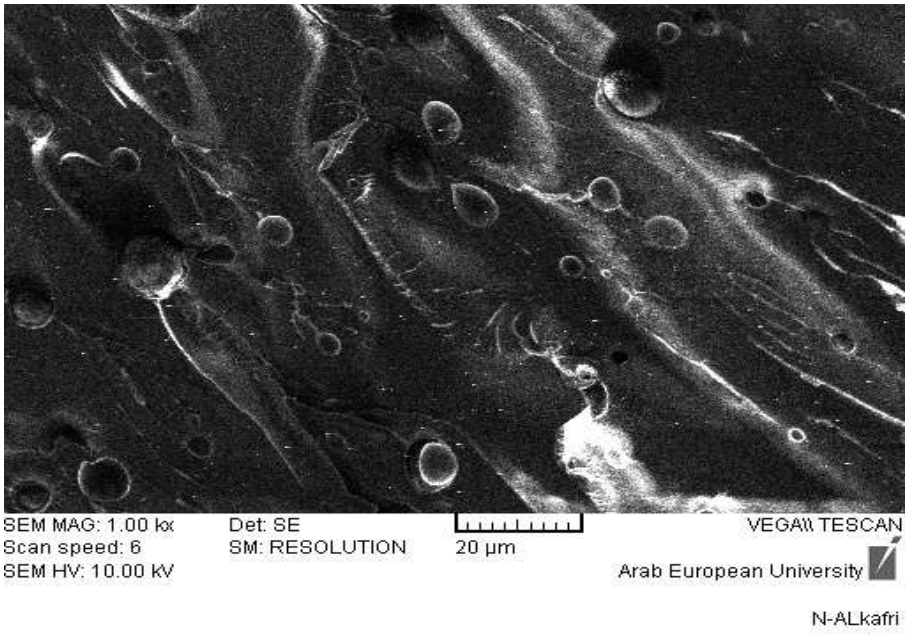
الشكل (7) سطح الكسر الناجم عن اختبار الشد لعينة من ريزين البولي استر غير المشبع + 2% مطاط طبيعي

بإجراء مقارنة مع تأثير إضافة نسبة 2 % مطاط بولي كلوروبرين إلى الريزينUPR المبين بالشكل (8) نلاحظ وجود تجانس أكبر لتوزع جزيئات مطاط الكلوروبرين ضمن مادة الأساس البوليميرية مع تشكل أطوار أكثر وضوحاً ضمن كتلة الأساس.

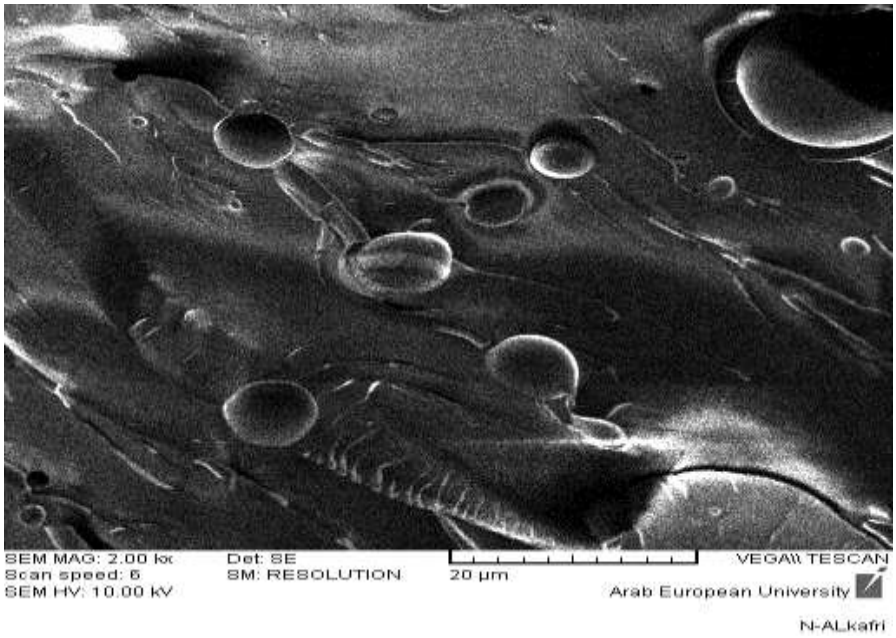


الشكل (8) سطح الكسر الناجم عن اختبار الشد لعينة من ريزين البولي استر غير المشبع + 2% مطاط كلوروبرين

لتوضيح تأثير المطاط المضاف على بنية الريزين UPR أجري المسح الإلكتروني لسطح الكسر عند نسب أعلى للمطاط المضاف، حيث يبين الشكلان (9) و(10) صورة سطح الكسر عند إضافة 10 % من المطاط السائل إلى الريزينUPR.



الشكل (9) سطح الكسر الناجم عن اختبار الشد لعينة من ريزين البولي استر غير المشبع + 10% مطاط كلوروبرين



الشكل (10) سطح الكسر الناجم عن اختبار الشد لعينة من ريزين البولي استر غير المشبع + 10% مطاط طبيعي

بمقارنة الشكلين (9) و(10) مع بعضهما يبدو أن قابلية انتشار وتشتت مادة المطاط المضافة عند استخدامها بنسبة 10 % متشابهة فيما بينها حيث يظهر بوضوح ميل المطاط السائل المضاف عند هذه النسبة إلى التكتل على شكل أطوار مستقلة ضمن مادة الأساس، كما ويلاحظ عند استخدام هذه النسبة العالية من المطاط إلى وجود تفاوت نسبي في قابلية التوزع والانتشار. فالشكل (10) يظهر أن قابلية انتشار المطاط الطبيعي ضمن مادة الأساس أكبر من قابلية مطاط الكلوروبرين.

تساهم مواد الإضافة على اختلاف أنواعها بالتأثير على الخواص الميكانيكية مهما اختلفت نسبتها، وتساهم قابلية الانتشار والتوزع لهذه المواد ضمن كتلة مادة الأساس في تحديد مدى تأثيرها. وبشكل عام يمكن القول أنه لا توجد روابط كيميائية بينها وبين مادة الأساس، لأنها تساهم في تخفيض الخواص الميكانيكية المميزة بسبب التأثير على قوى الارتباط بين الجزيئات. بناءً على ذلك فإن نتائج الصور الميكروسكوبية تؤكد الآتي :

1- إن تأثير إضافة مطاط الكلوروبرين أصغر بالمقارنة مع تأثير المطاط الطبيعي ويعود السبب إلى الاختلاف بقابلية الانتشار والتوزع بين الجزيئات، وهذا ما تؤكده المقارنة بين منحنيات الشكل (4) التي تظهر أن قيم إجهاد الشد عند الانقطاع بوجود مطاط الكلوروبرين أفضل من قيم الشد بوجود المطاط الطبيعي.

2- تظهر الصور الميكروسكوبية قابلية التوزع والانتشار الجيد للمطاط الطبيعي ضمن كتلة الأساس، وهذا ما تؤكده نتائج منحنيات الشكل (3) التي تظهر التحسن شبه الخطي في قيم الاستطالة النسبية بزيادة نسبة المطاط الطبيعي، في حين نلاحظ استمرار التحسن بزيادة نسبة مطاط الكلوروبرين حتى النسبة 7 % بعد ذلك نلاحظ حدوث استقرار نسبي باستمرار زيادة نسبة المطاط وذلك بسبب صعوبة التوزع والانتشار بزيادة نسبته في مادة الأساس.

3- أظهرت نتائج المسح الإلكتروني عند استخدام نسب منخفضة (2% مطاط سائل من كلا النوعين) أن قابلية الانتشار والتوزع لهذه النسبة جيد، إلا أن نسبة الزيادة الحاصلة بالاستطالة النسبية قليل بالمقارنة مع الزيادة الحاصلة عند النسب العالية.

تدل نتائج المسح الإلكتروني أيضاً أنه من الضروري التعامل مع نسب منخفضة من المطاط CR للحصول على خصائص جيدة للمنتج النهائي لأن ذلك يحسن من قابلية الانتشار والتوزع لمادة المطاط السائل ويؤكد صحة هذه النتيجة القيم الجيدة لبارامترات اختبار الشد عند التعامل مع النسب المنخفضة. إن هذه النتيجة تؤكد أيضاً الدور الملدن الذي تلعبه مادة المطاط CR حيث تظهر نتائج الشكل (3) استمرار زيادة قيم الاستطالة النسبية عند الانقطاع المترافق مع انخفاض القيم المميزة الأخرى لاختبار الشد باستمرار زيادة نسب مطاط CR المضافة.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1- يلعب كل من مطاط الكلوروبرين والمطاط الطبيعي دور المادة الملدنة عند إضافتهما للبولي استر غير المشبع حيث يساهم إضافتهما إلى زيادة الاستطالة النسبية عند الانقطاع.

2- يسبب زيادة نسبة المطاط المضافة المستخدمة بالبحث في تقليل الخواص الميكانيكية المدروسة (مقاومة الشد العظمى، معامل يونغ).

3- إن عدم الألفة بين مواد المطاط المضافة والبولي استر غير المشبع يدل على أن الارتباط الحاصل بينها فيزيائي وليس كيميائي وهذا ما تفسره نتائج التجارب التي أجريت (عدم حصول زيادة في إجهاد الشد وإنما اقتصرت الزيادة في الاستطالة بإضافة السائل المطاطي.

4- تظهر نتائج المسح الإلكتروني صعوبة توزع مواد الإضافة المطاطية المستخدمة بزيادة نسبتها ضمن مادة الأساس حيث نلاحظ التشكل الواضح للأطوار بزيادة نسبتها.

التوصيات:

1- ضرورة العمل على المجال % (2-0.5) مطاط سائل مضاف حيث تدل نتائج الاختبارات أنه المجال الفعال.

2- محاولة إيجاد الحلول الأمثلية لمشكلة عدم التجانس في المزائج باستخدام مواد ومحلات عضوية أخرى.

References:

[1] DEBDATTA, R. *Handbook of Thermoset Resins*. First ed., A Smithers Group Company, U. S. A., 2009,424.

[2] ENTIHA, G. *Modification of the Dynamic Damping Behavior of Unsaturated Polyester Resin*. Journal of REINFORCED PLASTICS AND COMPOSITES U. S. A. Vol. 27, N^{o}. 14, 2008,30-34.

[3] DIPA, R. *Study Tensile Strength and Wear Rate for Unsaturated Polyester Resin and Nitrile butadiene Rubber Polymer Blend*. Al-Khwarizmi Engineering Journal, Irag Vol. 11, N^{o}. 2, 2015, 45- 50.

[4] Robert, O. E. *Polymer Science and Technology*, Copyright by CRC Press LLC, U. S. A. 2008,544

[5] BHUYANESWARY, M. G. , THACHIL, E. T. *Blends of Natural Rubber with Unsaturated Polyester Resin*. International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials INDIA, VOL57,N^{o}. 6, 2008, 543-554.

[6] UTRACKI L. A., *Polymer Blends Handbook*, Klwer Academic Publishers, Netherlands, 2002,476

[7] Boeing H.V., *Unsaturated polyester resin-structure and properties*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1964,259
[8] RIEW K. C., *Rubber Toughened Plastics*, American Chemical Society, Washington DC, 1989,427
[9] SOARES B.G., RANGANATHAIAH C., *Polymer Testing* ,INC New York, Vol.26, N^{o}. 5, 2007, 88–94.