مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (5) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (5) 2016

دراسة إمكانية تعديل بعض خواص مركبات البولي استر غير المشبع بإضافة مواد مطاطية

د. رامي منصور *
د. نبيل مقدسي **
زبيده طه طه ***

(تاريخ الإيداع 27 / 6 / 2016. قُبِل للنشر في 13/ 10 / 2016)

□ ملخّص □

يهدف البحث إلى دراسة إمكانية تعديل بعض خواص البولي استر غير المشبع بإضافة مواد مطاطية وذلك بهدف تحسين خصائص المرونة. استخدم لهذا الهدف نفايات إطارات السيارات بشكلين قطع وبودرة، كما استخدم أيضاً كنوع آخر المطاط السائل الستارين بوتادين. ثم تم رصد التعديل من خلال قياس قدرة المواد المركبة الناتجة على امتصاص طاقة الاهتزاز وتخفيض الضجيج الناتج عن دوران عمود كرنك لامركزي وذلك عند سرعات دوران مختلفة rpm(300,500,700).

أظهرت نتائج الاختبارات وجود تعديل في بنية المركبات عند سرعة دوران منخفضة (300 rpm) في حين أظهرت نتائج مختلفة عند سرعات الدوران العالية.

الكلمات المفتاحية: بولي استر غير المشبع، نفايات المطاط، مطاط سائل، الاهتزازات الميكانيكية.

* أستاذ — كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – قسم التصميم والإنتاج – جامعة تشرين–اللاذقية – سورية.
** أستاذ — كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – قسم التصميم والإنتاج – جامعة تشرين–اللاذقية – سورية.
***طالبة دراسات عليا (ماجستير)–كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – قسم التصميم والإنتاج – جامعة تشرين–اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (5) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (5) 2016

A study of the possibility tomodifying some Properties of Unsaturated polyester Resin Compounds by adding Rubber materials

Dr. Rami Mansour*
Dr. Nabil Makdissi**
Zoubeida Taha Taha***

(Received 27 / 6 / 2016. Accepted 13 / 10 / 2016)

□ ABSTRACT □

This paper is targeting towards studying on the possibility to modify some properties of unsaturated Polyester compounds by adding rubber materials in order to improve its flexibility property. For this target, Waste of cars' tires was used in two forms powder and pieces, and the liquid rubber Styrene-butadiene was used as another type of rubber. After that the modification was detected by measuring the possibility of the resulted compound materials to absorb vibration power, and reduce the noise that is produced by eccentric crankshaft circulation at different rotating speeds, (300, 500, 700) rpm.

Test results demonstrate that there will be Modification in the construction of the compounds at low rotating speeds (300 rpm). On the other hand, it demonstrates different results at high rotating speeds.

Keywords: Unsaturated polyester Resin, waste rubber, liquid rubber, mechanical vibration.

*Professor; Department of Design & Production; Faculty of Mechanical & electrical Engineering; University of Tishreen, Lattakia, Syria.
**Professor; Department of Design & Production; Faculty of Mechanical & electrical Engineering; University of Tishreen, Lattakia, Syria.
**** Postgraduate student; Department of Design & Production; Faculty of Mechanical & electrical Engineering; University of Tishreen, Lattakia, Syria.

مقدمة:

يتطلب التقدم في العلوم والتكنولوجيا مجموعة متنوعة من البوليمرات المعدلة التي تتصف بخصائص ميكانيكية. فيزيائية تلبي حاجة المنتج النهائي بتكلفة اقتصادية منخفضة قدر الإمكان، وبما أن البولي استر غير المشبع (Unsaturated polyester resin–UPR) شائع الاستخدام في معظم التطبيقات لما يتمتع من خواص جيدة حيث يتصف بخواصه الميكانيكية العالية وميله للتحطم الهش عند تعرضه للصدمات وبالتالي قدرته على امتصاص طاقة الاهتزاز الضعيفة، فكان الهدف الرئيسي للبحث هو كيفية تحسين مادة UPRبواسطة إضافة مواد مطاطية مرنة.

أهمية البحث وأهدافه

بينت الدراسات المرجعية[1,2,3,4] أن إضافة المطاط الطبيعي السائل يحسن من الخواص الميكانيكية كمقاومة الصدم والصلابة وكذلك مقاومة الشد، حيث حققت التراكيز المنخفضة حتى (% 2.5) قيم مقاومة صدم عظمى بالمقارنة مع القيم عند نسب أعلى [2].

وعند معاينة السطح المكسور لراتنج البولي استر غير المشبع المعدل بالمطاط الطبيعي السائل باستخدام المجهر الالكتروني الماسحوجد أنه يتكون من طورين مستمر صلب يمثل الراتنج ومطاطي مبعثر على شكل حبيبات كروية ووجد أيضاً أن زيادة تركيز المطاط السائل أدى إلى تقليل الخصائص الميكانيكية بسبب زيادة حجم الحبيبات المرنة وبالتالي زيادة التوتر السطحي الذي يوجد بين الأطوار.وفي دراسة أخرى قام بها Ratna وزملائه [3] تم التطرق إلى دراسة تحسين مقاومة راتنج الايبوكسي عن طريق مزجه بالمطاط السائل وقد تم التأكد مما يلي:

1 يمكن تحسين مقاومة راتنجات الايبوكسي بنجاح وذلك عن طريق مزجها بنسبة وزنيةحوالي (10–15 %)من المطاط السائل أو عن طريق دمج جزيئات المطاط المتشكلة مباشرة.

2 يحدث التحسين نتيجة لتشتت الطاقة الميكانيكية من قبل تجاويف حبيبات المطاط يليها القص العائد من المادة وبالتالي تحسين مقاومة الكسر.

3 إن قابلية تحسين مقاومة المادة تزيد مع زيادة الليونة الكامنة في المادة وبالتالي فإن تحسين راتنجات الايبوكسي يكون أسهل بإضافة المطاط من راتنجات الايبوكسي ثلاثي ورباعي الوظيفة.

4 جزيئات المطاط التي حجمها (0.1–5 mm) والموزعة بشكل متجانس في جميع أنحاء المادة يمكنها تحسين راتنجات الايبوكسي بشكل فعال أكثر من جزيئات المطاط التي حجمها أكثر من (10 mm) والموزعة بشكل عشوائي.

وفي حال إضافة أنواع أخرى من المطاط مثل ستارين بوتادين وأكريل ونتريلبوتادين و دراسة تأثيره على الخواص الميكانيكية والديناميكية [5,6,7,8]،واعتماد سرعة الموجات فوق الصوتية لكلا النوعين من المطاط مع وبدون راتنجات البولي استر غير المشبع[6] وذلك عند (2, 5 MHz) وفي نطاق درجة حرارة بين(180–346 k) ، أوضحت النتائج أنه في هذه المعدلات من درجة الحرارة والتردد يوجد لكل نوع من المطاط ذروتي استرخاء، الذروة الرئيسية والثانوية، كما أن إضافة البولي استر غير المشبع تؤثر على موضع وارتفاع الذروة الرئيسية في (*SBR–Styrene butadiene rubber*)ولكن ليس على (*NBR–Nitrile butadiene rubber*). ووجد أن طاقة التنشيط واضحة لعملية الاسترخاء على درجات الحرارة وتزيد مع إضافة راتنج UP في كلا النوعين من المطاط. في حين عند دراسة تأثير مطاط الستيارين بوتادين على البولي ستيارين [8] أظهرت النتائج أن تحسن الخصائص الميكانيكية للمزيج يعتمد

على الخصائص الهيكلية وعلى كمية المطاط المستخدم، فكانت زيادته تؤدي إلى زيادة مقاومة الصدم وتقلل من قوة الشد ومعامل الانحناء، ومن ناحية أخرى كذلك كانت قيم مقاومة الصدم أعلى للمزيج مع تشكل متجانس للجزيئات المتفرقة والمتشابهة من حيث الحجم بالإضافة لذلك فإنه عند تشكل المزيج الذي يحتوي على SBR بشكل متشابك يؤدي إلى انخفاض في تجانس السطح.

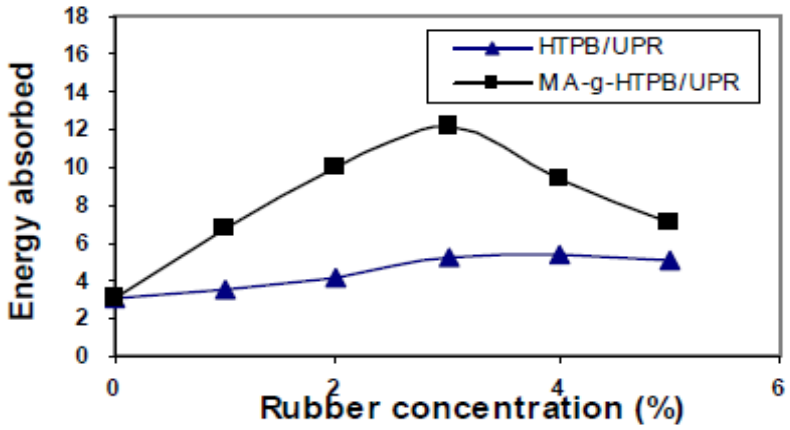
كما عمل الباحثون على تطوير المواد المركبة على مرحلتين [9] وهما: الأولى بإضافة مواد مرنة مطاطية مختلفة من (SBR,NBR, BR) مع راتنج الايبوكسي EP والبولي استر غير المشبع(UPR) أما المرحلة الثانية فتضمنت تسليح تلك الخلائط بمزجها مع (% 30) من نوعين من الألياف وهما ألياف الزجاج بمفردها ومزيج من ألياف الزجاج E – glass معKevlar ألياف (نوع 49) وقد استخدمت نسب وزنية مختلفة لكل نوع من المطاط شملت (5,10,15,...,50 %) مع كل من (EP)و(UP). ومن ثم أجري اختبار الصدم للخلائط التي لها (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 %) من (NBR,SBR,BR) في EP و UP . وقد بينت هذه الدراسة أنه عندما تزداد نسبة (NBR) في مزيج (EP/NBR) أكثر من 20% يكون طور المطاط قد انفصل عن الايبوكسي بشكل ملحوظ وهذا يؤدي إلى تراجع في مقاومة الصدم للمزيج، وقد حصلت الظاهرة نفسها للمطاط (BR) في مزيج (EP/BR) ولكن عند النسبة 30%، أي يمكن زيادة مقاومة الصدم لل EPإلى ($32,10.4\ KJ/m^2$) تقريبا عند إضافة (20,30% Wt من (NBR,BR).

أما بالنسبة لمزج EP مع أية نسبة مئوية من SBR فإنها تشكل نظاماً غير متجانس نتيجة لتلبد حبيبات SBR والطور المنفصل في EP، وقد يكون السبب ضعف القوى البينية بين EPوSBR ، بينما زادت مقاومة الصدم لل UP تقريبا إلى ($10,15.5,31.4\ KJ/m^2$) عند إضافة حوالي (10 %Wt) من (SBR,NBR, BR) لأنها تعمل على تقليل تقصف الراتنج وذلك لان حبيبات المطاط غالبا ما تكون كروية مع شوائب كروية للطور القصف، فعند تراكيز أكبر من القيمة القصوى المتعلقة بالطور المطاطي تميل الحبيبات المبعثرة للتراكم أو لتشكيل حبيبات متطاولة بدلا من الكروية التي تقلل من مقاومة الصدم.

وفي حال إضافة ألياف الزجاج و *sisal* بنسب مختلفة للبولي استر غير المشبع [10] تبين أن الاختلاف في طول الالياف لم يكن له تأثير واضح على النتائج التي أجريت في هذا العمل. أما من حيث التحليل الميكانيكي الديناميكي فنجد زيادة في كل من معامل التخزين ومعامل الفقدان (Tan δ) كذلك زيادة أعلى بزيادة تحميل الزجاج وحجم الألياف كما نجد انخفاض (Tan δ) مع زيادة درجة الحرارة والذي يرتبط مع تليين المادة عند ارتفاع الحرارة.

وعند دراسة الخواص الميكانيكية والديناميكية لمركب البولي استر غير المشبع المضاف إليه ألياف جوز الهند [11] تبين أن الخواص الميكانيكية لديها ارتباط قوي مع الخواص الديناميكيةوتعتمد إلى حد كبير على نسبة حجم الألياف حيث أن حجم ألياف جوز الهند عندما كانت 5% أظهرت أفضل النتائج، أما بالنسبة للخصائص الديناميكية مثل التردد الطبيعي فلوحظ أنه ينخفض مع زيادة حجم ألياف جوز الهند.

بالنسبة لامتصاص الطاقة للراتنج المضاف إليه مطاط هيدروكسي البولي بوتادين *hydroxy terminated polybutadiene –HTPB*) ومن ثم تم تطعيمه بأن هيدريد المالئيك (*maleic anhydride*) [12]، وجد انه عند تركيز (MA–g–HTPB 3 % Wt) كانت أعلى قيمة لامتصاص الطاقة، حيث كان أداء MA–g–HTPB أعلى بكثير من HTPB وذلك بسبب الانتشار الأفضل لجزيئات المطاط في مرحلة البولي استر المستمرة وهذا ما يوضحه الشكل التالي(1):



الشكل (1) امتصاص الطاقة للبولي استر غير المشبع المعدل بالمطاط

أيضا تم فحص خاصية التخميد للرماد المتطاير (*Unsilanized* و Silanized) المضاف لراتنجات الايبوكسي المدعمة بالألياف[13] فإن كل من خاصية التخميد وقيم (Tan δ) تتحسن مع إضافة الرماد المتطاير إلى قيمة معينة بعدها أي إضافة تؤدي إلى انخفاض قيمة كل من درجة حرارة التحول الزجاجي ومعامل الفقدان(Tan δ). وفي حال تم إضافة بودرة رخام متوسط أقطارها (4.5,5.1,31 μm) ومن ثم إجراء التصلب عند درجات الحرارة (40,60,80,100,120 C^o) لتحديد مدى تأثير حجم الجسيمات ودرجة حرارة التصلب على الخصائص الحرارية والميكانيكية والديناميكية [14]، وجد أن المركب الذي يحوي على جسيمات الرخام الصغيرة له أفضل خصائص ميكانيكية كالصلابة بالمقارنة مع المركب الذي يحوي على جسيمات متوسطة وخشنة من الرخام، وتبين أيضا أن درجة حرارة التصلب ليس لها تأثير واضح على الخواص الميكانيكية باستثناء الدرجة (120 C^o) حيث عند هذه القيمة سجلت العينات انخفاض حاد في الخصائص الميكانيكية وحقق استخدام الرخام الخشن تحسين أفضل لخاصية التخميد.

ومن خلال الاطلاع على الدراسات السابقة نجد أن غالبا النتائج تشير إلى وجود طيف من أنواع المطاط المستخدمة في تحسين مقاومة الصدم وقدرة البولياستر غير المشبع على امتصاص طاقة الاهتزاز ومنها تأتي أهمية هذه الدراسة في البحث عن دراسة إمكانية تعديل بنية UPR من خلال إضافة مواد كاوتشوكية صلبة (قطع – بودرة) ومن خلال إضافة مطاط الستايرينبوتادين SBR.

طرائق البحث و مواده:

أ – <u>مواد الاختبار</u>:

- **مادة البولي استر غير المشبع(UPR):**

تم استخدام مادة البولي استر غير المشبع (Unsaturated polyester resin) الشائع الاستخدام – إنتاج المملكة العربية السعودية –شركة Industrial Chemicals & Resins CO.Ltd. كمادة بوليميرية أساسية في البحث وله المواصفات التالية:

الحالة الفيزيائية	شفافسائل
اللون	أصفر

الرائحة	لاذعة
الكثافة عند 30 C°	450-650%
نقطة الوميض	34 C°
نقطة التجلتن	[15-20] minutes

- **المادة البادئة:**

المادة البادئة المستخدمة هي بيروكسيد الميثيل إيثيل كيتون (MEKP)-نوع BUTANOX-M-50 كمادة بادئة لحدوث التفاعلات في المزيج المستخدم.

- **المادة المسرعة:**

تم استخدام محلول الكوبالت نفتنات (Cobalt Naphthenate)الحاوي على نسبة % 6 كوبالت كوسيط معالجة مسرع لمزيج البولي استر غير المشبع المستخدم.

- **نفايات المطاط:**

تم استخدام نفايات المطاط التي مصدرها إطارات السيارات، حيث استخدمت على شكل بودرة أقطارها الوسطية (100-400 µm) وقطع صغيرة الحجم بأبعاد تقريبية وسطية (2*4 mm). كما تم استخدام أنواع من المطاط السائل ومنها ستارين بوتادين المطاط (SBR) وهو على شكل سائل أبيض لزج.

ب - <u>طريقة تحضير العينات:</u>

تم تحضير العينات بطرق تقليدية وجو غير معزول حرارياً بدرجة حرارة للوسط المحيط بين($20\text{-}25\ C^0$)، حيث قمنا بمزج مادة البولي استر غير المشبع مع نسب وزنية مختلفة من أنواع المطاط ومن ثم تم خلط المزيج جيدا بشكل يدوي حتى تمام التجانس. بعدها تم إضافة كل من المادة البادئة البيروكسيدية MEKP بنسبة 2% والمادة المسرعة Cobalt Naphthanate بنسبة 0.5%وحرك المزيج لمدة حوالي دقيقة واحدة، ثم تم صب الخليط في قوالب محضرة ذات شكل دائري بقطر cm(0.5 ± 10) وسماكة cm (0.5 ± 1) تتناسب والجهاز المستخدم في البحث.

الشكل (2) عينات الاختبار بشكلها النهائي

ت – طريقة اختبار العينات:

بعد حدوث التصلب للعينات، تم دراسة قدرتها على امتصاص طاقة الاهتزازات الميكانيكية وذلك بوضع العينات بين طاولة تم صنعها من الحديد وجهاز يولد اهتزازات ميكانيكية نوع (gunt Hamburg–TM 170) عند سرعات مختلفة (300,500,700 rpm) ثم تم قياس كل من (O–P،RMS) باستخدام جهاز ألماني من نوع (VIB XPERT) وذلك لمعرفة مدى تأثير هذه الإضافات على هذه المنتجات.

يقدم جهاز القياس طيف واسع من البارامترات الخاصة بالاهتزازات الميكانيكية القسرية. تعبر RMS(μm) عن طاقة الاهتزازات الضارة الناشئة عن الاهتزاز أما O–P(μm) فتعبر عن أعظم سعة مسجلة عن هذه الاهتزازات.

الشكل (3) جهاز القياسO–P، RMS

الشكل (4) طريقة وضع العينات

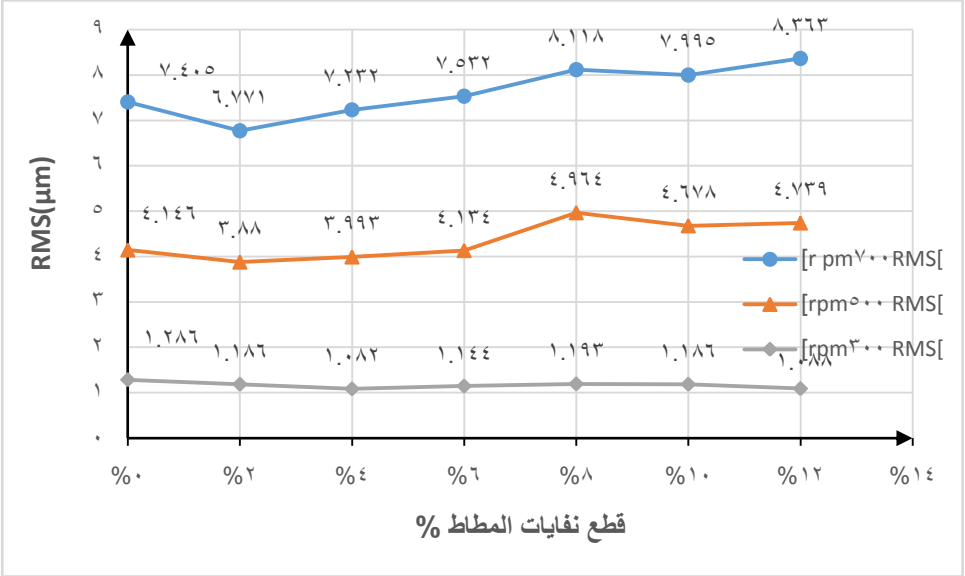
الشكل (5) أجهزة القياس المستخدمة في اختبار العينات

النتائج والمناقشة:

تعتبر طريقة تعديل البنية من الطرق الفعالة والناجحة وغير المكلفة اقتصادياً، ويمكن تحقيقها بطرق تكنولوجية سهلة بهدف تنظيم البنية وتحسين خواص المنتجات البوليميرية وذلك بهدف تصنيع مواد إنشائية جديدة بخواص مثالية وثابتة في مجال حراري واسع. كما أن اختيار طريقة تعديل البنية يحدد قبل كل شيء من الخاصية المطلوب تحقيقها في المركبات البوليميرية مع الأخذ بعين الاعتبار مكان استثمار المنتج والعامل الاقتصادي والمتطلبات التكنولوجية، حيث قمنا في هذاالبحث بدراسة مدى تأثير هذه المواد على بارامترات الاهتزازات الميكانيكية لمعرفة قدرتها على امتصاص هذه الاهتزازات وذلك بقياس كل من RMSوالتي تشكل أهمية كبيرة لأنها تعطي قيمة سعة الموجة التي تتحول إلى طاقة وبالتالي من خلال معرفتها يمكن معرفة مقدار قيمة القدرة المدمرة للاهتزاز، وأيضا قياس سعة الموجة (O–P) التي لها أهمية في معرفة أقصى مدى يمكن أن يكون الاهتزاز عنده.

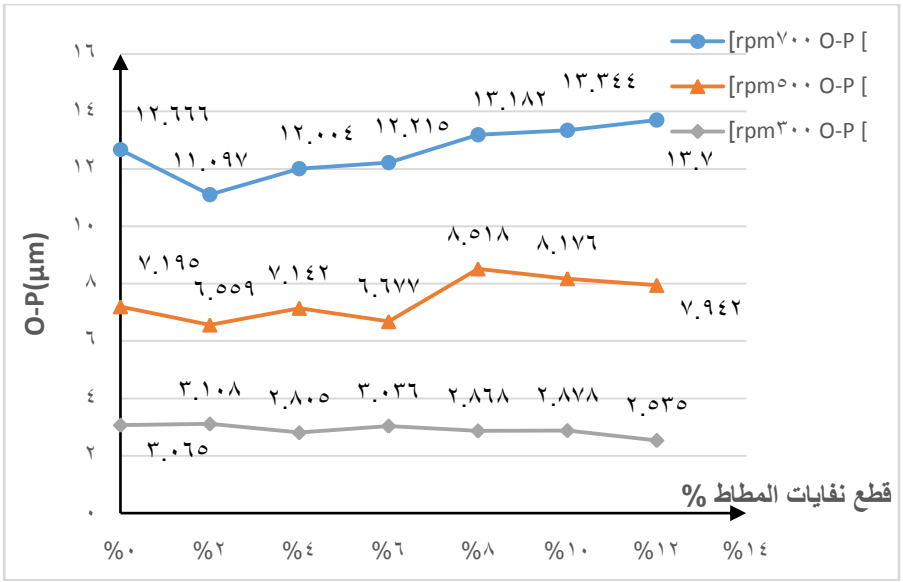
أظهرت نتائج قياس RMS لعينات مختلفة بدلالة نسبة قطع الكاوتشوك المضافة عند سرع مختلفة لدوران آلة الاختبار r.p.m (300,500,700) اختلاف بمسارات المنحنيات المتعلقة بقيم RMS، وكما هو موضح بالشكل (6) حدوث انخفاض بسيط بقيمة RMS عند النسبتين % (2,4) وذلك عند السرعتين r.p.m (500,700) لتعود بعد ذلك هذه القيمة للزيادة بازدياد نسبة قطع النفايات. يلاحظ من الشكل أيضاً ازدياد قيمة RMS لتبلغ قيم أعلى من قيمة

RMS لمادة UPR النقية وكأن إضافة قطع الكاوتشوك بنسب عالية قد ساهم في حدوث تراكب بالاهتزازات مما سبب في تشكل اهتزازات ذات سعات أكبر. كما ويدل الشكل (6) أن قيم RMS تميل للتناقص البسيط عند السرعة 300r.pm بزيادة نسبة قطع الكاوتشوك، لتبلغ أصغر قيمة عند النسبة 12%. إن هذه النتيجة تظهر أن الاهتزازات القسرية المتولدة عن سرع دوران عالية تكون كبيرة ولم تتمكن بنية العينات المحضرة مخبرياً من امتصاص او تحويل ولو جزء بسيط من طاقة الاهتزاز إلى طاقة حرارية، في حين يظهر الدور المحسن لقطع الكاوتشوك بامتصاص جزء من طاقة الاهتزاز عند سرعات دوران منخفضة(300 r.pm) .



الشكل (6) – منحنيات تغير RMS بدلالة نسبة قطع النفايات وسرعة الدوران

تؤكد صحة النتائج المبينة بالشكل(6) منحنيات قياس O–P بدلالة نفس القيم المتغيرة الواردة بالشكل (7) حيث يلاحظ انخفاض بقيمة O–P عند السرع العالية r.pm (500–700) عند النسب من 2% حتى 6% لنلاحظ بعدها ازدياد في قيم سعة الاهتزاز الحرجة بعد هذه النسبة، أما فيما يتعلق بقيم O–P عند السرعة المنخفضة 300 r.p.m فيلاحظ انخفاض بسيط بهذه القيم بزيادة نسبة الكاوتشوك حتى 12%.



الشكل(7) – منحنيات تغير قيم O–P بدلالة نسبة قطع الكاوتشوك وسرع الدوران

يبدو من نتائج الشكلين (6,7) أن بنية المركبات المشكلة تجريبياً تبدي سلوكيات متباينة حيث تظهر أن إضافة % (2,4) قطع كاوتشوكية غير متجانسة مكن عينات الاختبار من امتصاص جزء من طاقة الاهتزاز عند الترددات العالية وأن إضافة نسب أعلى من 4% سبب انخفاض في قدرة المادة على امتصاص الاهتزاز حيث أصبحت استجابة العينات المحضرة مخبرياً لنقل الاهتزازات أكبر من استجابة مادة UPRالنقية. بشكل عام يمكن القول إن إضافة الكاوتشوك قد سبب تغيراً بالبنية وهذا التغير يعتبر إيجابياً حتى النسبة 4% وسلبياً بعد هذه النسبة.

إن النتائج التي تم الحصول عليها والمبينة بالأشكال(6و7) أظهرت تأثيرات متباينة وكان من المتوقع حدوث تأثيرات إيجابية أكبر، كما أظهرت النسب العالية المضافة تأثيراً سلبياً لقطع الكاوتشوك المضافة وكأن العينات المختبرة أصبحت أكثر صلابة ويمكن اقتراح تفسير هذا وفق الآتي:

1 –بقاء بنية مادة الأساس البوليميرية UPRالحاوية على قطع الكاوتشوك محافظة على خصائصها الميكانيكية بعد التصلب.

2 – تشكل غلاف من مادة UPR يحيط بجزيئات الكاوتشوك المضافة غني بعقد التشابكات وهذا ما يعيق وصول ذبذبات الاهتزازية القسرية إلى قطع الكاوتشوك المضافة، بمعنى آخر إن الغلاف المتشكل يشكل حاجزاً يمنع الاهتزازات من الانتقال من مادة UPR والوصول لقطع الكاوتشوك. يؤكد صحة هذه الفرضية ازدياد قيم RMSوقيم O–P بزيادة نسبة قطع الكاوتشوك في مادة UPR.

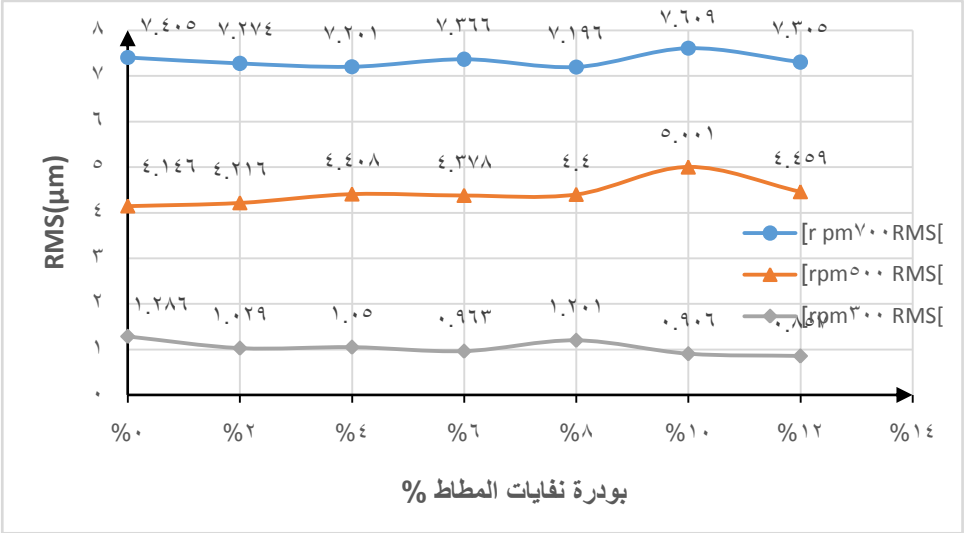
3 – يبدو تردد دوران جهاز الاختبار واضحاً على البارامترات المدروسة حيث يلاحظ أن قطع الكاوتشوك المضافة، عند سرعة دوران 300 r.p.m لا تبدي تأثيراً سلبياً على المركبات المدروسة مهما اختلفت نسبة قطع الكاوتشوك المضافة بل على العكس يلاحظ تحسن إيجابي طفيف بقيم هذه البارامترات.

تحتاج الاستنتاجات السابقة الذكر إلى إجراء دراسات تجريبية موسعة تتلخص برفع نسبة قطع الكاوتشوك المضافة بهدف التقليل من درجة الترطيب، وبالتالي التقليل من درجة التشابكات، بهدف إعطاء الفرصة بشكل أفضل لقطع الكاوتشوك المضافة للقيام بدور التخميد.

إن النتائج المبينة بالأشكال السابقة (6و7) لا يلغي أبداً الدور المعدل لهذه المواد التي يمكن اعتبارها كمواد مالئة تساهم بشكل أساسي في تخفيض التكلفة الاقتصادية.

تعود النتائج بالأشكال (6,7) إلى استخدام قطع كاوتشوك كبيرة الحجم جداً بالمقارنة مع أبعاد الهيكل الجزيئي لمادة UPR المتشكل بعد التصلب، ولهذا السبب لجئنا في دراستنا التجريبية إلى استخدام نفايات بودرة الكاوتشوك ذات الحجم الصغير جداً بالمقارنة مع القطع وذلك بهدف زيادة المساحة السطحية للمادة المالئة. وبهدف تحقيق ترطيب كامل لجزيئات البودرة تم استخدامها بنسب منخفضة حتى 12% لتأكيد او نفي صحة الاقتراح المتعلق بتأثير كثافة عقد الارتباط في منطقة الغلاف الحدودية على قيم البارامترات التجريبية المدروسة

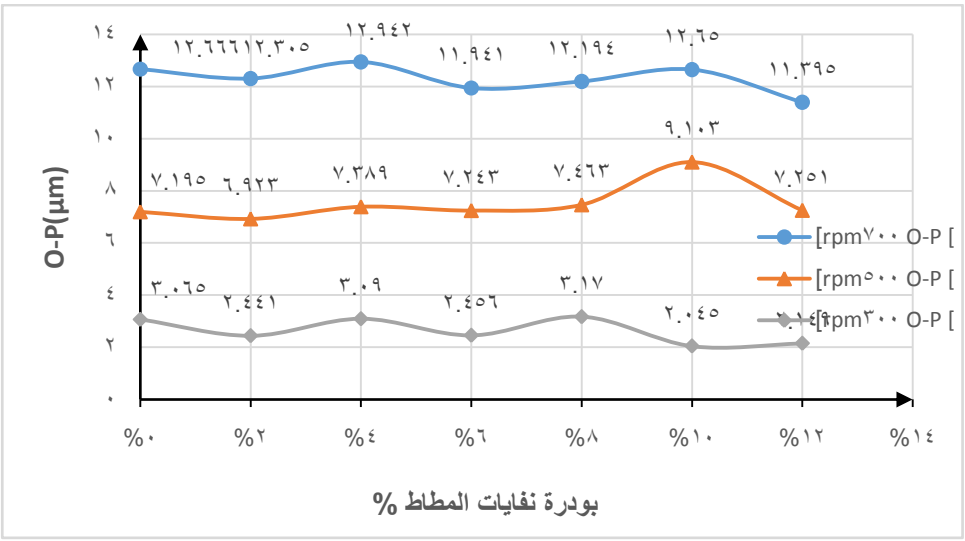
يظهر الشكل(8) منحنيات RMS بدلالة نسبة بودرة نفايات المطاط لمركبات البولي استر غير المشبع وبدلالة سرعة دوران الاختبار. يلاحظ من الشكل وجود انخفاض طفيف جدا بقيم RMS عند السرعة 700 r.p.m حتى النسبة 8% مع ميل قيم RMS للثبات تقريباً، أما عند السرعة 500 r.p.m فيميل منحني RMS للزيادة لتبلغ أعلى قيمة عند النسبة % 10 حيث تبلغ نسبة الزيادة 20% مقارنة بعينة UPR النقية. يظهر الشكل(8) أيضاً انخفاض بسيط ومتتالي في قيم RMS عند سرعة دوران 300 r.p.m بزيادة نسبة بودة الكاوتشوك لتبلغ نسبة الانخفاض حوالي 40%عند نسبة بودرة الكاوتشوك 12%.



الشكل(8) – منحنيات تغير بدلالة نسبة بودرة الكاوتشوك وسرعة الدوران

لمركبات البولي استر غير المشبع

تتطابق مسارات منحنيات الشكل(8) مع منحنيات الشكل(9) الذي يبين تغير قيمة O–P بدلالة نسبة بودرة الكاوتشوك وسرعة الدوران، حيث نلاحظ من الشكل (9) وجود تذبذب ضمن حدود القيم المقاسة تجريبياً بتغير نسبة البودرة مع ملاحظة ميل المنحني للانخفاض عند السرعة 300 r.p.m بمقدار 30% عند النسبة 12%.



الشكل(9) – منحنيات تغير O–P بدلالة نسبة بودرة الكاوتشوك وسرعة

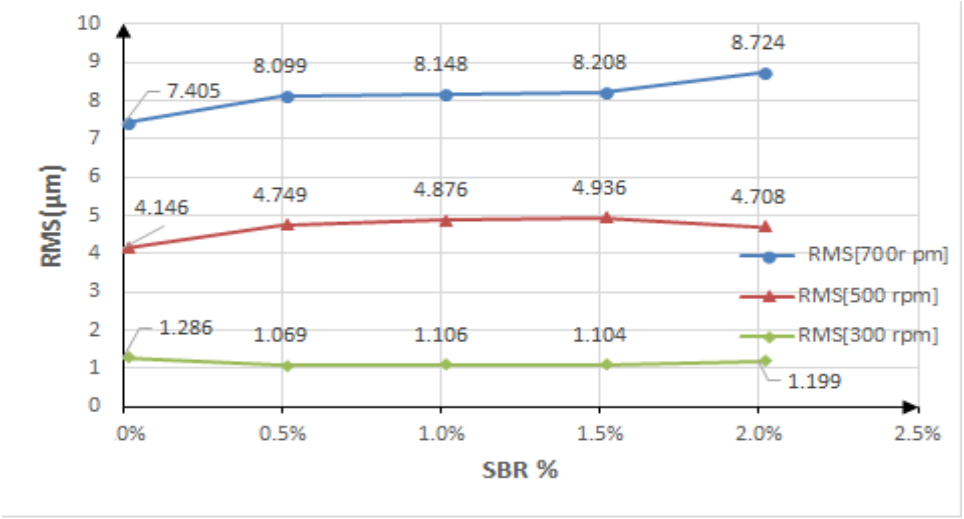
الدوران لمركبات البولي استر غير المشبع

ويمكن تفسير التذبذب الحاصل بمسارات المنحنيات بعدم توزع بودرة الكاوتشوك بشكل منتظم بعينات الاختبار. وعلى الرغم من زيادة المساحة السطحية لجزيئات الكاوتشوك (المساحة السطحية لبودرة الكاوتشوك أكبر من المساحة السطحية للقطع) إلا أن التأثير المتشابه لهما يدل على خضوعهما لنفس التأثير المقترح من قبلنا حول تشكل كثافة عالية للعقد على سطوح حبيبات البودرة.

تشير الدراسات المرجعية الواردة الذكر إلى احتمال تعديل بنية UPR بواسطة إضافة مواد مطاطية ذات قوام سائل، ولهذا السبب لجئنا إلى دراسة نوع من المطاط السائل هو مطاط الستيارين بوتادين (SBR).

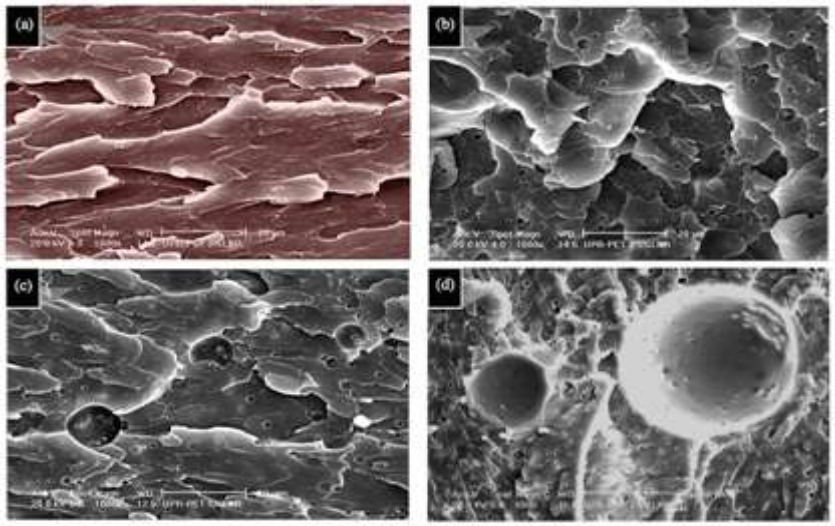
من خلال الدراسات المرجعية تبين لنا أن أكبر المشاكل التي يمكن أن نتعرض لها عند مزج مادة UPR مع مطاط سائل هي مشكلة عدم التوافق الحاصل وخاصة بعد تجاوز نسب معينة حيث تشير الدراسات إلى حدوث فصل بين مادة الأساس والمطاط السائل.

أظهرت النتائج التجريبية التي أجريت أن إضافة نسب مختلفة من المطاط السائل لمادة UPR يكون مقبولاً حتى نسبة معينة لأن تجاوز هذه النسبة يؤدي إلى حدوث فصل واضح بالعين المجردة بين المكونات بالمنتج النهائي. إن هذه النتيجة الأولية التي حصلنا عليها دفعتنا بالواقع إلى البحث عن النسب المثلى وذلك ضمن مجالات النسب المنخفضة من 0.5% والوصول حتى نسب تعتبر مقبولة من حيث قابلية المزج.



الشكل (10) – منحنيات تغير قيم RMS بدلالة نسبة المطاط السائل SBR وسرعة الدوران

يظهر الشكل (10) منحنيات تغير RMS بدلالة كل من نسبة SBRوسرعة الدوران. كما هو واضح من الشكل أن قيم RMS تزداد عند سرع الدوران العالية r.p.m (700 , 500) في حين نلاحظ انخفاض بسيط بهذه القيم عند السرعة المنخفضة 300 r.pm. إن هذه النتيجة غير متوقعة فهي تظهر ازدياد قيم طاقة التحطم الناتجة عن الاهتزاز المطبق، وهي بالواقع تتناقض مع الدراسة المرجعية [8] التي تظهر حدوث تحسن بطاقة الصدمة بإضافة SBR. كما تشير بعض الدراسات الواردة بالدراسة المرجعية [9] إلى تشكل أطوار مستقلة من مادة SBR تختلف فيما بينها بالحجم وبطبيعة التوزع ضمن مادة الأساس. وتتوضع ضمن مادة UPR بشكل منفصل على شكل تكورات ضمن مادة الاساس كما هو موضح بالشكل (11).

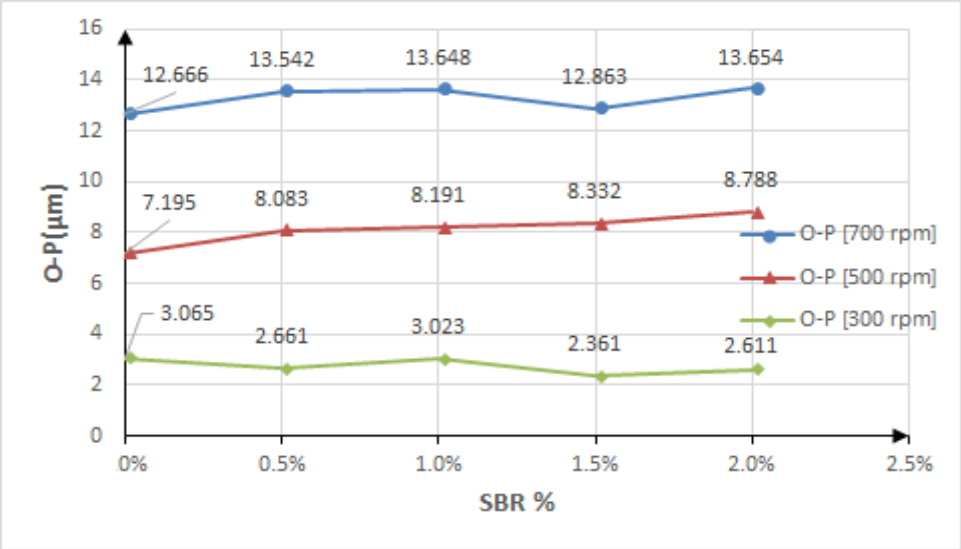


الشكل (11) صور المجهر الإلكتروني الماسح بتكبير ×1000

a–100 % UPR	b–97.5 % UPR/2.5 % LNR
C–95 % UPR/5 % LNR	d–92.7 % UPR/7.5 % LNR

تؤكد صحة النتيجة الواردة بالشكل (10) نتائج قياس سعة الاهتزاز O–P بدلالة كل من سرعة الدوران ونسبة مادة الكاوتشوك السائل المضافة، وكما هو واضح من الشكل (12) ازدياد قيم O–P بزيادة نسبة SBR والشكل العام لمسار المنحنيات المبينة بالشكل (12) تؤكد التأثير السلبي لمادة SBR على الخواص المدروسة، في حين يلاحظ انخفاض بسيط عند السرع المنخفضة 300 rpm.

إن التعديل المتوقع من مادة SBR على زيادة تحسين خصائص المرونة لمادة البولي استر غير المشبع المستخدمة في بحثنا لم تتحقق. فعلى الرغم من استخدام مثل هذه المواد المطاطية في التخميد إلا أن ذلك يبدو بعيد المنال بالخلط المباشر لمادة SBR مع مادة UPR. والسبب في هذا هو حالة عدم التآلف بين المادتين، أو الحاجة إلى ظروف مزج تكنولوجية بنسب متوافقة كي يتم الحصول على خليط متجانس. من وجهة نظرنا إن ايجاد توافق بين ألية تصلب البولي استر غير المشبع مع نظام فلكنة(Vulcanizates) مناسب لمادة SBR المطاطية ربما يسمح بإنشاء بنية جديدة متوافقة متجانسة تساهم في تحرير كتلة المنتج المراد تصنيعه من طاقة الاهتزازات التي يمكن أن يتعرض لها.



الشكل (12) –منحنيات تغير قيم O–P بدلالة نسبة SBRوسرعة الدوران

إن معظم النتائج المسجلة عند السرع المنخفضة تظهر تحسناً بسيطاً في كافة القياسات المتعلقة بالدراسة، وكأن تعديل البنية المراد تحقيقه من خلال مواد الإضافة المستخدمة يظهر فقط عند هذه السرع، في حين تظهر السرع العالية أن الخلائط المصنعة تبدي استجابات متباينة لطبيعة الاهتزاز الناتج عن السرع العالية، عند ترددات عالية للاهتزازات.

ينبغي التأكيد على ضرورة إجراء دراسات مكثفة للمناطق الحدية الفاصلة. فالمواد المالئة المضافة لا يمكن اعتبارها بالمطلق عقد ضمن عينات اختبار بسبب حجمها الكبير جداً بالمقارنة مع حجم العقد الناتجة عن تلاقي الجزيئات العملاقة، بل هي أطوار لمواد مستقلة تبدي سلوكيات خاصة بها نتيجة وجودها الحتمي ضمن طور UPR الصلب.

إن مقارنة نتائج القياس تم بالمقارنة مع مادة UPR النقية، وأي تحسن حتى ولو كان بسيطاً في القياسات التجريبية يعني بالواقع حدوث تعديل فيزيائي ما. بالطبع التعديل هنا ليس كيميائياً بالنسبة لنفايات الكاوتشوك المضافة(بودرة – قطع) ومن المتوقع ونتيجة لتشابه النتائج السابقة الذكر أن يكون ميكانيزم تأثير SBR فيزيائياً وليس كيميائياً. ولتأكيد ذلك يتطلب إجراءات دراسات تجريبية إضافية ولاسيما على صعيد التصوير الميكروسكوبي ومحاولة معرفة صفات الطبقة الفاصلة الحدودية بين مواد الإضافة (بودرة – قطعمطاط) أو تجمعاتها كما هو الحال عند إضافة SBR.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1 – كافة مواد الإضافة المستخدمة بالبحث الكاوتشوك بشكليه (القطع – البودرة) ومادة المطاط السائل SBR تبدي تأثيراً إيجابياً على امتصاص جزء من طاقة الاهتزاز القسرية المتولدة في بنية عينات الاختبار عند السرع المنخفضة 300 r.p.m.

2 – إن كافة النتائج التي تم التوصل إليها تشير إلى حدوث تعديل ببنية مادة الأساس البوليميرية UPR على الرغم من استخدام جزء من مواد الإضافة كمادة مالئة مثل الكاوتشوك بشكليه (قطع – بودرة) أو عند استخدام المطاط السائل (SBR).

التوصيات:

1 –ضرورة إجراء تقييم أدق لتأثير المواد المضافة المستخدمة بالبحث من خلال رصد التغيرات الحاصلة بالخواص الفيزيائية – الميكانيكية لمعرفة مدى تأثير هذه المواد على الخواص النهائية للمنتج النهائي

2–يعود اختيارنا لمادة UPR كمادة بوليميرية وحيدة في دراستنا إلى الخواص الميكانيكية – الفيزيائية والكيميائية الممتازة التي تمتلكها هذه المادة ولهذا السبب نوصي بإجراء دراسات إضافية على مواد بوليميرية أخرى تنتمي إلى عائلة البلاستيك الحراري مثل HDPE،LDPE ،PP.

المراجع:

[1]- ABDULLAH, I.; KARGARZADEH, H.; AHMAD, I. &THOMAS, R.," *Functionalized liquid natural rubber and liquid epoxidized natural rubber: A promising green toughening agent for polyester* ". John Wiley & Sons, Inc. J. Appl. Polym. Sci. 2015, 132, 41292.

[2]- HISHAM, S.F.; AHMAD, I.; DAIK, R. &RAMLI, A.," *Blends of LNR with unsaturated polyester resin from recycled PET: comparison of mechanical properties and morphological analysis with the optimum blend by commercial resin* ". Sains Malaysiana, Vol.40, No.7, 2011, 729-735.

[3]- RATNA, D.; BANTHIA, K.,"*Rubber Toughened Epoxy*". Macromolecular Research, Vol. 12, No. 1, 2004, 11-21.

[4]- HAMEED, A.M.,"*Effect of Water Absorption on Some Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Resin /Natural Rubber Blends*". Jordan Journal of Physics, Vol. 5, No. 3, Nov.2012, 119-127.

[5]- CHERIAN, A.B.; THACHIL, E.T.,*" Elastomer Toughening of Isophthalic Polyester Resin* ". Polymer-Plastics Technology and Engineering, Vol. 44, Issue 3, 2009, 391-405.

[6]- YOUSSEFA, M.H.; MANSOURB, S.H. &TAWFIKB, S.Y.,"*Effect of unsaturated polyester resin on the mechanical and ultrasonic properties of SBR and NBR*". Polymer, Vol. 41, Issue 21, October 2000, 7815–7826.

[7]- TAWFIKB, S.Y.; YOUSSEFA, M.H. &MANSOURB, S.H.," *Unsaturated polyester as compatibilizer for styrene butadiene (SBR)/acrylonitrile butadiene (NBR) rubber blends*". Journal of Applied Polymer Science, Vol. 83, Issue 11, March 2009, 2314–2321.

[8]- BARRERA, G.M.; MENCHACA, C.; PIETKIEWICZ, D. &BROSTOW, W.," *Polystyrene + Styrene-Butadiene Blends: Mechanical and Morphological Properties*". Materials Science (MEDŽIAGOTYRA), Vol.10, No.2, April 2004, 1320-1392.

[9]- Dr.HAMID, A. M.; Dr. ABD AL NOOR, S.S. & Dr. DHYAA, B.M.," *Studying of the Impact Strength of Rubber- Toughened Thermosets*". Eng. & Tech. Journal, Vol.27, No.1, 2009, 13.

[10]- ORNAGHI, H.L.; BOLNER, A.S.; FIORIO, R.; ZATTERA, A.J. & AMICO, S.C.," *Mechanical and Dynamic Mechanical Analysis of Hybrid Composites Molded by Resin Transfer Molding*". Journal of Applied Polymer Science, Vol. 118, 2010, 887-896.

[11]- BUJANG, I.Z.; AWANG, M.K. &ISMAIL, A.E., "*STUDY ON THE DYNAMIC CHARACTERISTIC OF COCONUT FIBRE REINFORCED COMPOSITES*". Regional Conference on Engineering Mathematics, Mechanics, Manufacturing and Architechture, November 2007, 18.

[12]- VARGHESE, N.;PAUL, J. & CHERIAN, A. B., "*Blends of unsaturated polyester resin with maleated HTPB*". Polmer Science &Rubber Technology, CUSAT, 246-249.

[13]- SHUBHAM, P. &TIWARI, S.K.," *Effect of Unsilanized and Silanized Fly Ash on Damping Properties of Fly Ash Filled Fiber Reinforced Epoxy Composite*". Proc. of the International Conference on Advances in Aeronautical and Mechanical Engineering, Ame.105, 2012, 978-981.

[14]- ICDUYGU, M.G.; AKTAS, L. &ALTAN, M.C.," *Characterization of Composite Tiles Fabricated from Poly (ethylene terephthalate) and Micromarble Particles Reinforced by Glass Fiber Mats*". POLYMER COMPOSITES, 2012, 12.