

DOI: <http://dx.doi.org/10.21123/bsj.2016.13.2.2NCC.0010>

## تحضير متراكبات البولي استر غير المشبع النانوية ودراسة خواصها الميكانيكية باستعمال بعض الإضافات اللاعضوية

رغد محمد حسون

جليل رفيف عكال

قسم الكيمياء، كلية العلوم للبنات، جامعة بغداد، بغداد، العراق

استلام البحث 2015/9/14

قبول النشر 2015/12/20



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

### الخلاصة:

استعملت في هذا البحث ثلاثة إضافات لاعضوية نانوية هي، كربونات الكالسيوم، وأوكسيد الألمنيوم، وأوكسيد السليكون لتحضير متراكبات البولي استر غير المشبع وذلك لغرض تحسين خواصها الميكانيكية؛ وقوة الشد والاستطالة وقوة الصدم والصلادة. أشارت النتائج بأن الإضافات الثلاثة كانت فعالة في تحسين الخواص الميكانيكية عند استعمال الإضافات بنسب تصل إلى 4% وزناً، وكانت كفاءة هذه الإضافات تتبع التسلسل الآتي:



وذلك بسبب الحجم الحبيبي لكل منها؛ كربونات الكالسيوم (13 نانوميتر) وأوكسيد الألمنيوم (20-30 نانوميتر) وأوكسيد السليكون (15-20 نانوميتر).

**الكلمات المفتاحية:** راتنج البولي استر غير المشبع، المتراكبات النانوية، الإضافات.

### المقدمة

المشعبة وغير المشعبة / الانهيدريدات والمركبات ثنائية الهيدروكسيل أو الأكاسيد الذائبة في مونومرات الفينايول غير المشعبة وتضم عائلة متنوعة من مواد الترموست التي غالباً ما تكون أوليغومرات صفراء باهتة مع انخفاض درجة البلمرة [4]. ونظراً لخصائصها المتفوقة فقد اجتذبت قدراً كبيراً من الاهتمام في مختلف المجالات مثل صناعة السيارات، وفي مجال الزراعة، والنقل، والبناء، ومع ذلك فإن لديها بعض السلبيات مثل ضعف المقاومة الكيميائية واللهب وانكماش حجمها من متوسط إلى عالي [5]. ولغرض الحصول على مواد ذات خصائص ميكانيكية وحرارية مرغوب فيها يتم تصنيع المواد المتراكبة من مزيج من مواد مختلفة في تكوينها (وفيها تحتفظ المكونات المنفردة بهوياتها المنفصلة) وتعمل هذه المكونات المنفردة معاً لإعطاء القوة الميكانيكية اللازمة أو الصلابة واليوم أصبحت المواد المتراكبة جزءاً أساسياً من المواد في حياتنا بسبب المزايا التي تمتلكها مثل انخفاض الوزن، ومقاومة التآكل، وقوة عالية للإجهاد وسرعة التشكيل، وانخفاض التكلفة، حيث تستعمل هذه المواد على نطاق واسع في صنع هياكل الطائرات وتغليف المواد الإلكترونية وفي المعدات الطبية والمركبات الفضائية

البوليمرات هي تراكيب جزيئية عملاقة تشبه السلاسل ذات أواصر تساهمية تشكل ذرات الكربون العمود الفقري لها وتسمى عملية تشكيل الجزيئات الكبيرة (البوليمر) من وحدات اصغر (المونومير) بعملية البلمرة [1]. من ناحية أخرى تتميز البوليمرات بمعامل صلابة وقوة منخفضة وتعمل في تطبيقات تكون فيها درجة الحرارة منخفضة. هناك نوعان أساسيان من البوليمرات التي تستخدم لصنع المواد البوليميرية المتراكبة المتقدمة وهي بوليمرات الترموبلاستيك والترموست [2].

بوليمرات الترموست تحتوي على اثنين أو أكثر من المكونات تتكون من عامل مساعد مناسب و/أو عامل مصلد والتفاعلات اللاحقة تنتج شبكة صلدة عالية التشابك [3] وبمجرد تشكيل هذه الشبكات فإنها تقاوم التليين بالحرارة والزحف وهجوم المذيبات ولا يمكن معالجتها حرارياً (لا يمكن إعادة صلبها وتشكيلها). هذه الخصائص تجعل الترموست من المواد المناسبة للمتراكبات ومن أمثلتها البولي استرات غير المشعبة (unsaturated polyesters) والايوكسي (Epoxy) [1].

البولي استرات غير المشعبة (UP) بوليمرات خطية ناتجة من التكثيف المتعدد تقوم على الأحماض

المستعملة في البحث ( $U_c$ )، وتعطى قيمة ( $U_c$ ) بصورة مباشرة من جهاز الفحص المستعمل من خلالها يمكن حساب مقاومة الصدمة (Impact Strength) [10]. التي تعتمد على متغيرات عدة مثل نوع المواد المتراكبة، ونوع الاجهاد المسلط على العينة، وظروف التصنيع، والظروف البيئية، والشكل الهندسي للعينة، وابعادها [11]. وتعد مقاومة الصدمة مقياسا لمقاومة المادة للكسر تحت تأثير الاجهاد الخارجي المسلط عليها بصورة فجائية، او بعبارة اخرى مقدار الطاقة الممتصة من قبل العينة قبل حصول الكسر فيها عند تعرضها الى حمل فجائي [12] وتم اجراء الفحص باستعمال جهاز الصدم نوع ايزود Izod المصنوع من قبل شركة (Time Testing Machines) صيني المنشأ / الجامعة التكنولوجية قسم هندسة المواد .

#### اولاً// نماذج الفحص

اخذت عينة لكل انموذج بأبعاد ( $7.2 \times 13$ ) ملم وتم صقل وتنعيم حافات العينة بعد عملية التقطيع.

#### ثانياً / المتغيرات المحسوبة

تم حساب مقاومة الصدمة (Impact Strength) بحسب العلاقة الآتية :

$$G_c = \frac{U_c}{A}$$

اذ ان :-  $G_c$  مقاومة الصدمة للمادة (كيلو جول/م<sup>2</sup>) او (جول/ملم<sup>2</sup>) و  $U_c$  الطاقة اللازمة لكسر العينة (كيلوجول) او (جول) و  $A$  مساحة المقطع العرضي للعينة (م<sup>2</sup>) او (ملم<sup>2</sup>) .

#### ب. اختبار الصلادة Hardness Test

وهو اختبار يستعمل لقياس مقاومة المادة للتشوهات اللدنة في المناطق السطحية منها [13] وهو من الاختبارات الميكانيكية الأكثر شيوعاً وذلك لأنه مباشر نسبياً" وايضاً" لما يتميز به من سرعة الأداء وقابليته على التكرار بما فيه الكفاية إلى جانب ذلك لا يستهلك وقتاً طويلاً" لأعداد العينة [14,15] وقد تم استعمال جهاز الصلادة نوع شور D. حيث انه عند تسليط قوة عمودية على سطح العينة باستعمال اداة الغرز النقطة (وهي عبارة عن ابرة ذات رأس دقيق) تتغلغل اداة الغرز بشكل كامل داخل سطح العينة تحت تأثير الحمل المسلط فتظهر قراءة على شاشة الجهاز بصورة رقمية تدل على قيمة صلادة النموذج قيد الفحص وتكرر العملية ثلاث مرات ويؤخذ معدل القراءات الثلاث للحصول على نتيجة ادق [16]. لم يتم استعمال العينات بأبعاد معينة بل تم استعمال الجزء الراسي من عينة الشد المستعملة في فحص قوة الشد لغرض اجراء الاختبار لأنه فحص غير اتلافي للعينة وذلك لان الرأس الدقيق لأداة الغرز يولد اثراً "صغيراً" جداً" في العينة والذي يوفر فرصة لاختبار مكونات صغيرة جداً وطبقات رقيقة [14,15] اجري الفحص باستعمال جهاز الصلادة نوع شور D

وغيرها من الاستعمالات [6]. تعتمد الخواص الميكانيكية للمترابكات البوليميرية الحاوية على الحشو بدرجة كبيرة على حجم الجسيمات والسطح البيئي للألتصاق بين الحشو والمادة الاساس البوليميرية (Matrix) ولحجم الجسيمات وكمية الحشو تأثير كبير في الخصائص الميكانيكية ولقد تبين في الأونة الأخيرة من خلال البحوث أن الخواص الميكانيكية لبوليمرات الترموست يمكن أن تعزز إلى حد كبير بإدراج جسيمات دقيقة جداً بحجم النانو مكونة ما يسمى بالمترابكات البوليميرية النانوية حيث يصف مصطلح "البوليمرات المترابكة النانوية" بشكل عام أي أنظمة متعددة المكونات فيها المكون الأساسي هو البوليمر ويكون لمواد الحشو (مواد التقوية) بعد واحداً على الأقل أدنى من (nm) 100 [7]. لقد اجتذبت البوليمرات المترابكة النانوية اهتماماً "كبيراً" في كل من الأوساط الأكاديمية والصناعية وذلك بسبب خواصها الميكانيكية العالية مثل القوة و الصلابة مع استعمال كمية صغيرة فقط من الجسيمات النانوية [8]. كما تتميز بخفة وزنها وهي سهلة المعالجة وتوفر تحسناً واضحاً في الخواص الميكانيكية تتجاوز تلك التي تتحقق مع المواد المترابكة التقليدية [9] .

#### هدف البحث:

يهدف البحث لتحضير المترابكات النانوية لراتنج البولي استر غير المشبع ودراسة خواصها الميكانيكية مثل قوة الشد، وقوة الصدم، والصلادة، والاستطالة.

#### الجزء العملي

#### المواد والاجهزة

استعمل راتنج البولي استر غير المشبع من النوع التجاري بوصفه مادة اساس في تحضير المترابكات البوليميرية النانوية المستورد من شركة الكيماويات الصناعية والراتجات المتحدة (المملكة العربية السعودية) (Saudi International Resin Ltd (SIR)) وهو على شكل سائل لزج اصفر شاحب عند درجة حرارة الغرفة ويتحول الى الحالة الصلبة عند اضافة العامل المصلب (Hardener) من نوع مثيل اثيل كيتون بيروكساييد (MEKP) وهو مادة سائلة في درجة حرارة الغرفة مجهز من قبل الشركة نفسها وتم استعمال العامل المعجل (Accelerator) من نوع كوبلت اوكتويت (Cobalt Octuate) المجهز من الشركة نفسها. تم استعمال المساحيق النانوية وهي السليكا النانوية  $SiO_2$  (15-20nm) والالومينا النانوية  $Al_2O_3$  بحجم حبيبي (20-30nm) وكربونات الكالسيوم النانوية (13nm) وبنسب وزنية 2 و 4 و 6 و 8 %.

#### الاختبارات الميكانيكية Mechanical Test

#### أ. اختبار الصدم Impact Test

يعد اختبار مقاومة الصدمة من الاختبارات الميكانيكية المهمة من الناحية العملية ومن خلاله يمكن حساب الطاقة الممتصة اللازمة لكسر العينة

بالطول الى الطول الاصيلي للعينة ويمكن التعبير عن ذلك كما يأتي :

$$e = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\ell - L}{L}$$

اذ ان  $e$ : الانفعال و  $\ell$  الطول النهائي للعينة و  $L$  الطول الاولي للعينة  $\Delta L$  التغير في الطول.

### ت. الاستطالة Elongation

هي الخاصية التي تسمح للمادة بتشكيل لدن كبير تحت تأثير حمل الشد، اي قدرة المادة على السحب وقابليتها على الاستطالة الكبيرة عند تعرضها لحمل الشد. ويمكن حسابها من العلاقة الآتية :

$$\% \text{Elongation} = \frac{L' - L_0}{L_0} \cdot 100$$

اذ ان  $L'$  : الطول النهائي للعينة و  $L_0$  الطول الاولي للعينة .

### تحضير العينات

تم استعمال تقنية القولية اليدوية في تحضير المتراكبات البوليميرية النانوية وذلك بإتباع الخطوات الآتية:

أ. تهيئة القالب: تمت تهيئة قالب عملية الصب المتكون من قاعدة زجاجية يتم الصب فيها محاطة بإطار من الزجاج ايضا وذلك لغرض انتظام السمك ويكون القالب بأبعاد (3×130×130) ملم. أجريت عملية تنظيف القالب وتجفيفه لضمان عدم التصاق المصبوبات على القالب بعد التصلب حيث تم تغليف القاعدة بالمادة العازلة من ورق الفايلون اما جوانب الاطار فتم طلاؤها بمادة الفازلين.

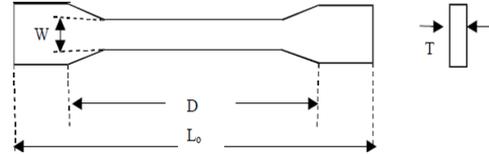
ب. تم استعمال راتنج البولي استر غير المشبع واضيف إليه المعجل بوصفه عاملاً مساعداً ثانوياً وهو الكوبلت اوكتويت (Cobalt Octuate) بمقدار 0.5 غم لكل 100 غم من الراتنج بعدها اضيفت الحشوات النانوية كلاً على انفراد (SiO<sub>2</sub> و Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و CaCO<sub>3</sub>) الموزونة مسبقاً وبنسب وزنية (2 و 4 و 6 و 8%) لكل مضاف ثم خلط المزيج يدوياً باستعمال قضيب زجاجي لمدة لا تتجاوز (10-15) دقيقة للعمل على نشر المواد النانوية جيداً داخل المادة الأساس البوليميرية بعدها خلط المزيج باستعمال جهاز الموجات فوق الصوتية لتحقيق افضل انتشار للمضافات لمدة 22 دقيقة عند حرارة 45 درجة سيليزية ثم اضيفت (قطرات) من المصلد وهو مثيل اثيل كيتون بيروكساييد (MEKP) ثم صب المزيج في القوالب لتتصلب عند درجة حرارة الغرفة. ترك القالب لمدة زمنية كافية في درجة حرارة الغرفة حتى اكتمل التصلب، من ثم تم استخراج العينات ووضعت داخل فرن لمدة ساعتين بدرجة حرارة 60 م° لإتمام عملية المعالجة وترك بعدها مدة (اسبوع) بعدها تم تقطيع العينات بحسب كل اختبار

/Elcometer/ امريكي المنشأ / الجامعة التكنولوجية - قسم هندسة المواد.

### ت. اختبار قوة الشد Tensile Strength Test

إن اختبار قوة الشد من أكثر الاختبارات الميكانيكية استعمالاً و تعتمد النتائج التي يتم الحصول عليها على حجم وشكل مقطع الاختبار. جهاز اختبار الشد ويتكون من رأس ثابت خاص لموازنة الحمل وتعيين قيمته وأخر متحرك وهو المسبب للأحمال المؤثرة في العينات المختبرة حيث توضع عينة الاختبار والتي تكون بشكل (dog-bone) بواسطة ماسك بين الرأسين والذي يقوم بسحب العينة حتى تنكسر ومن ثم يقوم بقياس الحمل المطبق مقابل استطالة العينة. توفر اختبارات الشد خصائص عدة منها قوة الشد والاستطالة وغيرها من الخصائص للمواد تحت أحمال الشد وغالباً ما تحدد هذه الخصائص لمادة معينة وتستخدم للمقارنة بين المواد وتطوير مواد جديدة ومراقبة الجودة [17]. اجري الفحص بحسب (ASTM D638) باستعمال جهاز موديل WPW-50 المصنع من قبل شركة LARYEE وبتسليط قوة شد بمعدل حمل (Load) سعة 50 KN صيني المنشأ / الجامعة التكنولوجية - قسم هندسة المواد.

تم تنفيذ اختبار الشد لتعيين العلاقة بين الإجهاد (Stress) وبين نسبة الاستطالة الناتجة للطول الكلي (Strain) للمتراكبات النانوية للبولي استر غير المشبع عند النسب الوزنية 2 و 4 و 6 و 8% لكل مضاف من المضافات النانوية .



الشكل يوضح شكل عينة اختبار الشد (dog-bone)

[18]

المتغيرات التي تم حسابها خلال هذا الاختبار:

### أ. الإجهاد Stress

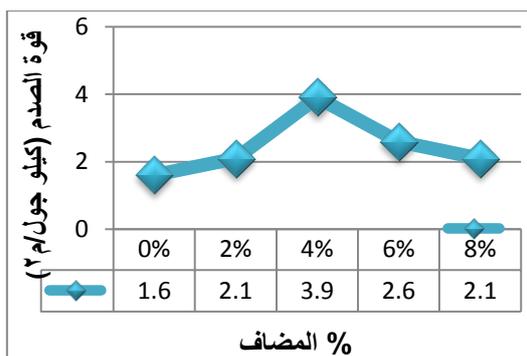
يعرف الإجهاد على أنه القوة العمودية المسلطة على وحدة المساحة ويمكن تعريفه ايضا على انه نسبة الحمل المسلط الى مساحة المقطع العرضي للعينة ويرمز للإجهاد بالرمز (σ) ويحسب من العلاقة الآتية :

$$\sigma = P/A$$

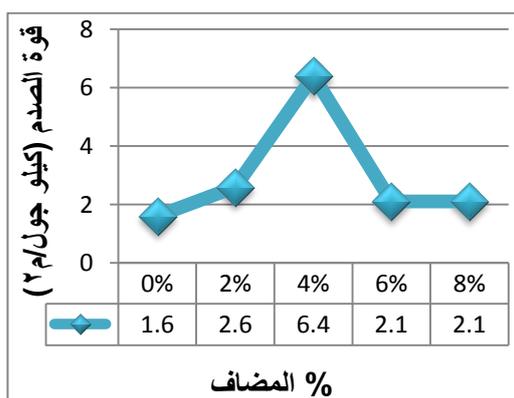
اذ (P) تمثل القوة بوحدة N نيوتن و A مساحة مقطع العينة بوحدة المتر المربع .

### ب. الانفعال Strain

يعرف الانفعال بأنه الاستطالة الناتجة من تسليط قوة الشد او التقلص الناتج من تسليط قوة بطريقة الانضغاط ويرمز له بالرمز (e) ويمثل نسبة التغير



الشكل (1-ب)



الشكل (1-ج)

الاشكال (1-أ) و(1-ب) و(1-ج) نتائج قوة الصدم للمتراكبات النانوية لراتنج البولي استر غير المشبع بوجود  $CaCO_3$  و  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$  النانوية على التوالي

#### الصلادة

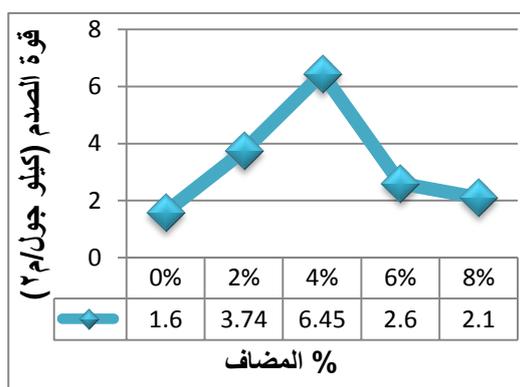
تبين الاشكال (2-أ) و(2-ب) و(2-ج) نتائج صلادة شور D للمتراكبات النانوية لراتنج البولي استر غير المشبع بوجود  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$  و  $CaCO_3$  على التوالي وتشير قيم الصلادة إلى ان المواد المتراكبة الحاوية على الحشوات النانوية أقسى من تلك الخالية من الحشو، فمن المعروف بشكل عام أن التحسن في كل من الصلادة وقوة الشد هو نتيجة للزيادة في كثافة التشابك ويمكن أن تؤخذ الصلادة بوصفها مؤشراً على كثافة التشابك على سطح المواد المتراكبة بينما تعد قوة الشد مؤشراً لكثافة التشابك خلال الجزء الأكبر من كامل المواد المتراكبة وهذا يتفق مع حقيقة أن الصلادة هي مقياس لمقاومة الاختراق حيث تزداد مقاومة الاختراق لمتراكبات راتنج البولي استر غير المشبع بشكل خطي عند الاضافة التدريجية للمضافات النانوية في المادة الاساس (UPR).

وأجريت عملية التنعيم والصفل للعينات للحصول على نهايات ملساء.

#### النتائج والمناقشة:

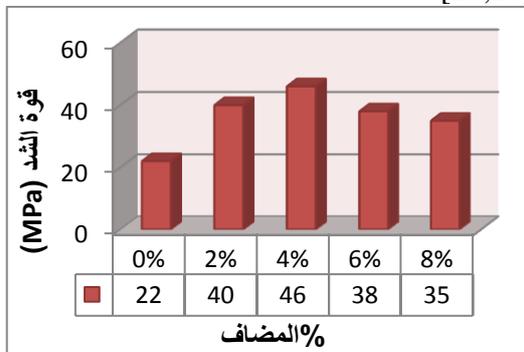
##### قوة الصدم

تظهر الاشكال (1-أ) و(1-ب) و(1-ج) نتائج قوة الصدم للمتراكبات النانوية لراتنج البولي استر غير المشبع والتي من خلالها يلاحظ ان قوة الصدم للبولى استر غير المشبع النقي تبلغ (1.6 كيلو جول/م<sup>2</sup>) وتزداد لتبلغ اعلى قيمة عند النسبة 4% ثم تبدأ بالتناقص مع إضافة المزيد من المضافات النانوية ويمكن أن يعزى هذا الاختلاف في قوة الصدم لأمرين؛ أولهما عندما يكون محتوى المضافات النانوية بنسبة وزنية >4% نادراً ما تتكثف المضافات النانوية في المادة الاساس وانتشار الجسيمات الدقيقة داخل المادة الاساس يجعل تشوه البلاستيك أسهل، لذلك فانه خلال عملية كسر المتراكبات التي تحتوي جسيمات نانوية منتشرة بشكل جيد فالإجهاد يجب أن يكون أكبر لبدء صدع صغير في المادة الاساس (UPR) بسبب امتصاص طاقة صدم أكبر لإظهار تشوه البلاستيك الذي يحدث بشكل أكثر سهولة حول الجسيمات النانوية، ومن ثم فإن الانتشار الجيد للمضافات النانوية يؤدي إلى تكثف أقل مما يؤدي إلى قوة صدم أفضل للمتراكبات النانوية. السبب الثاني للتباين في قوة الصدم هو أنه عندما يكون محتوى المضافات النانوية بنسبة وزنية <4% فإنها تتكثف بسهولة إلى جزيئات كبيرة تصبح موضعاً لتركيز الإجهاد ويمكن أن تكون بمنزلة بادئ لأحداث صدع صغير. لذلك فالتكتلات الكبيرة هي نقاط ضعف تقلل من الإجهاد اللازم لكسر المتراكبات ومن ثم تنخفض قوة الصدم للمتراكبات النانوية عند النسب العالية [19-22].

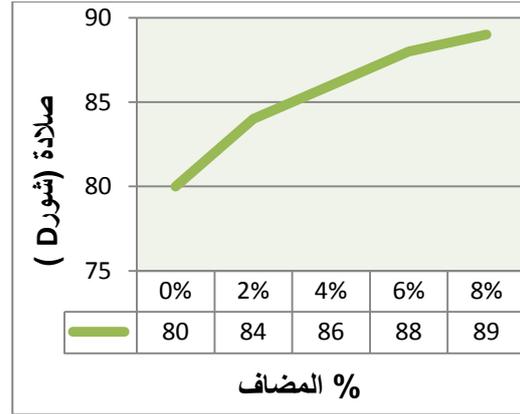


الشكل (1-أ)

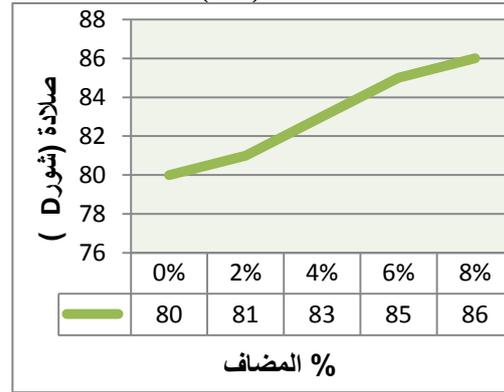
الاساس وهذا يمكن تفسيره بناء على الإجهاد داخل المادة الاساس البوليميرية اذ ان الاجهاد الموضعي يمكن ان ينتقل بسهولة إلى الجسيمات الأكثر صلابة ونتيجة لذلك تكون المادة الاساس الاكثر عرضة للتشوه البلاستيكي الموضعي ( plastic deformation) والنتيجة النهائية هي قوة أعلى للمترابكات عندما تكون الجزيئات النانوية في اتصال جوهري مع المادة الاساس البوليميرية ، غير أن الفراغات بين الجسيمات النانوية والمادة الاساس البوليميرية وتكتل الجسيمات النانوية يؤدي الى انخفاض قوة الشد وهذا له ما يبرره في الادبيات ، وذلك أن التفاعلات الفيزيائية الكيميائية بين الجسيمات والمادة الاساس تؤدي دوراً مهماً في المترابكات التي تم الحصول عليها ، وبعبارة أخرى فإن الترابط الكيميائي القوي يحسن الخواص الميكانيكية للمترابكات مقارنة بالارتباط الضعيف بوساطة قوى فان در فالز ( Van der Waals ) والواصر الهيدروجينية [23,24] . ولعل أحد التفسيرات المحتملة أيضاً لانخفاض قوة الشد عند استعمال المضاف بنسبة اكبر من 4% هو نتيجة زيادة كمية الجسيمات النانوية مما يؤدي الى تكتلها (اي التقارب الكبير للجزيئات) وضعف مقاومة الكسر نتيجة لتطور عدد كبير من الشقوق الصغيرة كما ان الزيادة في عدد الجسيمات يؤدي ايضا الى صعوبة الانتشار وسهولة تكتل المضافات النانوية الذي يؤدي الى توزيع غير متجانس ومن ثم إلى إضعاف التفاعل بين الحشو والمادة الاساس وهذا يعني أن التكتلات تشكل نقاط ضعف في المواد المترابكة والتي يمكن أن تؤدي إلى خواص غير مرغوب فيها للمواد [25]. كذلك عند النسب العالية من المضافات النانوية في راتنج المادة الاساس، تتكتل الجسيمات النانوية بشكل أسهل مما يولد عيوباً في المواد المترابكة ومن المرجح أن يتركز الاجهاد داخل الراتنج أو الجزيئات المتكتلة والذي بدوره يولد انزلاقاً ضمن المواد بسبب القوة الخارجية مما يؤدي إلى انخفاض خصائص الشد [23,26].



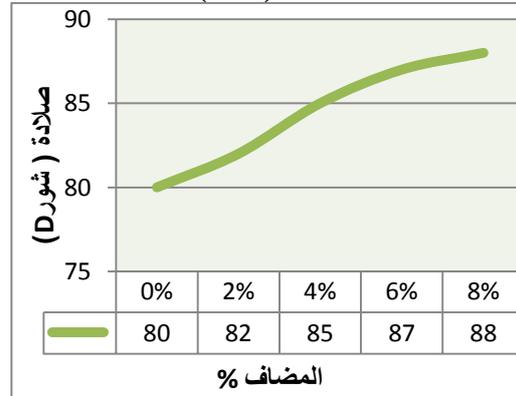
الشكل (3- أ)



الشكل (2- أ)



الشكل (2- ب)



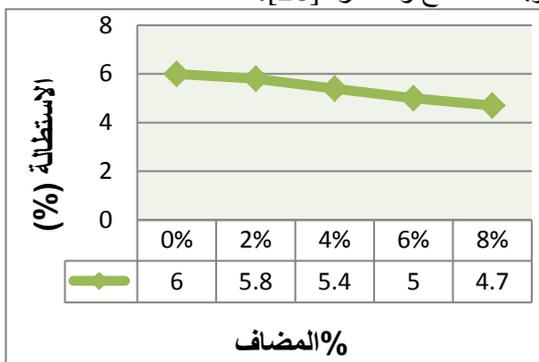
الشكل (2- ج)

الاشكال (2-أ) و(2-ب) و(2-ج) نتائج صلادة شور D للمترابكات النانوية لراتنج البولي استر غير المشبع بوجود  $CaCO_3$  و  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$  النانوية على التوالي

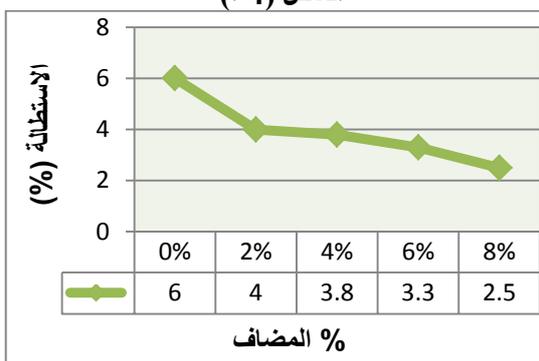
#### قوة الشد

تظهر الاشكال (3-أ) و(3-ب) و(3-ج) نتائج قوة الشد للمترابكات النانوية لراتنج البولي استر غير المشبع والنقي من دون اضافة يظهر قوة شد ( 22 MPa) وتزداد هذه القوة مع زيادة محتوى المضافات النانوية عندما تكون النسبة الوزنية للمضافات النانوية أقل من 4% الا انها تنخفض عند النسب الاعلى من 4% وقد تكون زيادة قوة الشد للمترابكات النانوية بسبب التوزيع المنتظم للجسيمات النانوية داخل المادة

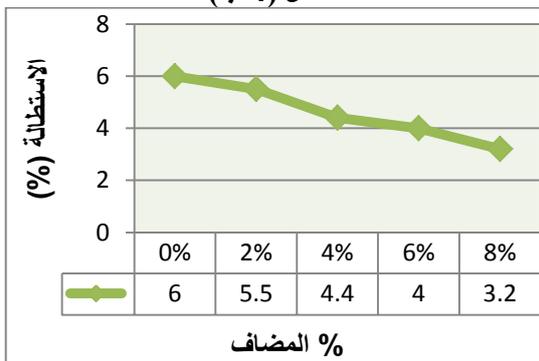
ويعزى ذلك إلى التغير في الحركة وتركيز الإجهاد وبدء الصدع وانتشاره [28].



الشكل (أ-4)



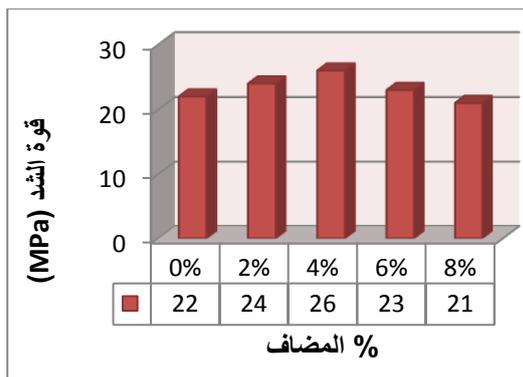
الشكل (ب-4)



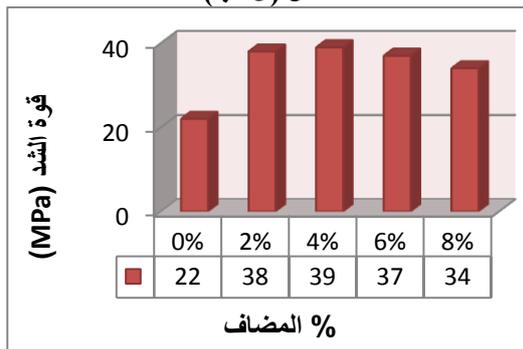
الشكل (ج-3)

الاشكال (أ-4) و(ب-4) و(ج-4) نتائج استطالة الشد للمتراكبات النانوية لراتنج البولي استر غير المشبع بوجود  $CaCO_3$  و  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$  النانوية على التوالي

ويمكن اجمال النتائج التي تم الحصول عليها بالأشكال الآتية:



الشكل (ب-3)

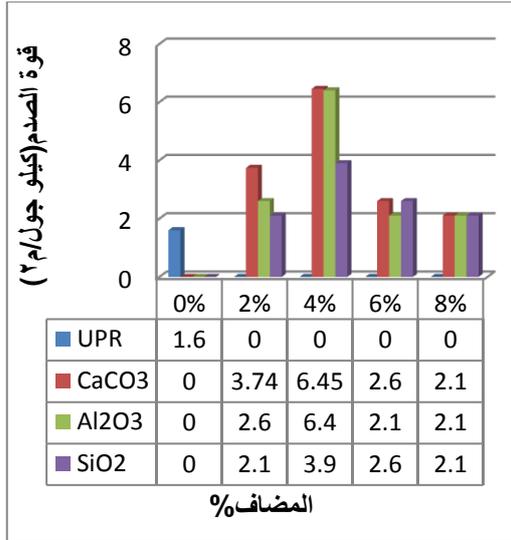


الشكل (ج-3)

الاشكال (أ-3) و(ب-3) و(ج-3) نتائج قوة الشد للمتراكبات النانوية لراتنج البولي استر غير المشبع بوجود  $CaCO_3$  و  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$  النانوية على التوالي

#### استطالة الشد

تظهر الاشكال (أ-4) و(ب-4) و(ج-4) نتائج اختبار استطالة الشد للمتراكبات النانوية لراتنج البولي استر غير المشبع، إذ يلاحظ بأنه إذا كان هناك التصاق جيد بين الحشو والمادة الاساس فإنه يسبب انخفاض الاستطالة عند الكسر. في الدراسة الحالية انخفضت استطالة الشد عند مقارنتها بالراتنج من دون اضافة وهذا الانخفاض يزداد قليلاً بزيادة محتوى الحشو، ومن المعروف جيداً أن إضافة جسيمات الحشو غالباً ما تؤدي إلى انخفاض استطالة المتراكبات البوليميرية الحاوية على الحشو نظراً للصلاية الجوهرية للحشوات غير العضوية [27]. عموماً فإن إضافة الحشو إلى راتنج المادة الاساس يؤدي إلى زيادة صلابة المادة الاساس يقلل من الاستطالة وقد لوحظ حصول تأثير ضئيل لشكل الجسيمات في الاستطالة عند الكسر للمتراكبات فالاستطالة عند الكسر تتناسب عكسياً مع قوة الشد مما يعني أن زيادة قوة الشد للمواد الحاوية على الحشو تسهم في انخفاض الاستطالة لأن وجود الحشو يقلل من قيمة صلابة المواد المستعملة في هذا البحث ومن ثم يقلل من الاستطالة عند الكسر للمواد المتراكبة ومع ذلك فقد لوحظ بأن خصائص الاستطالة تنخفض بدلاً من ذلك بإضافة الحشو



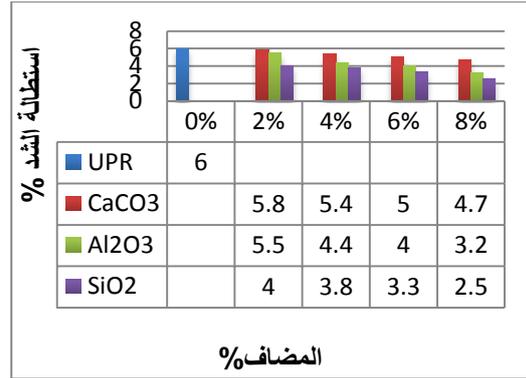
الشكل (8) نتائج قوة الصدم للمترابكات النانوية لراتنج البولي استر غير المشبع بوجود المضافات النانوية  $CaCO_3$  و  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$

#### الاستنتاجات:

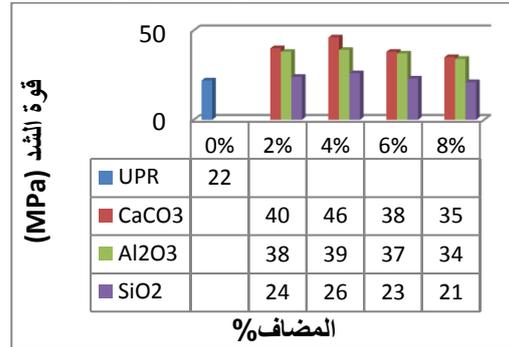
في هذه الدراسة أظهرت المضافات النانوية تأثيراً واضحاً في تطوير وتحسين الخواص الميكانيكية للبولي استر غير المشبع وبخاصة أنها استعملت بنسب وزنية قليلة (4%) وان المضافات مواد رخيصة الثمن ومتوفرة .

#### المصادر:

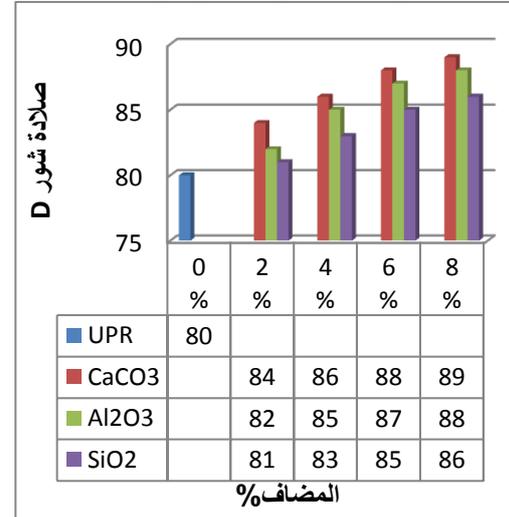
- [1] Joel, R .F. 2009. Polymer Science &Technology. Prentice-Hall, Inc, New Delhi ,2<sup>nd</sup> Ed, PP553.
- [2] Subhash, N.V.S.S. 2013 .Tribology of Alumina Nano Composites. M.Sc, Thesis, Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology Rourke India. PP37.
- [3] Akovali ,G. 2001. Handbook of Composite Fabrication, Rapra Technology Ltd, United Kingdom, PP196.
- [4] Malik ,M.; Choudhary ,V. and Varma, I.K. 2000. Current Status of Unsaturated Polyester Resins. Rev. Macromol. Chem. Phys., 40(2-3): 139-165.
- [5] Mark, J. E. 1999. Polymer data handbook, Oxford University Press, Inc,2<sup>nd</sup> Edn, PP 1264.
- [6] Shaw, A.; Sriramula, S.; Gosling, P.D. and Chryssanthopoulo ,M.K. 2010. A critical reliability evaluation



الشكل (5) نتائج الاستطالة للمترابكات النانوية لراتنج البولي استر غير المشبع بوجود المضافات النانوية  $Al_2O_3$  و  $SiO_2$  و  $CaCO_3$



الشكل (6) نتائج قوة الشد للمترابكات النانوية لراتنج البولي استر غير المشبع بوجود المضافات النانوية  $Al_2O_3$  و  $SiO_2$  و  $CaCO_3$



الشكل (7) نتائج صلادة شور D للمترابكات النانوية لراتنج البولي استر غير المشبع بوجود المضافات النانوية  $Al_2O_3$  و  $SiO_2$  و  $CaCO_3$

- [17] Daniel, L.C. 2004. Mechanical Characterization of Polymer Nanocomposites and the Role of Interphase. M.Sc., Thesis, Georgia Institute of Technology, PP100.
- [18] Metin, K. 2003. Production and Characterization of Nanocomposite Materials From Recycled Thermoplastics. M.S., Thesis, Middle East Technical University, PP142.
- [19] Mareri, P.; Bastide, S.; Binda, N. and Crespy, A. 1998. Mechanical behavior of polypropylene composites containing fine mineral filler: Effect of filler on surface treatment ,Compos. Sci. Technol., 58(5) :747-752 .
- [20] Zhang, J.; Wang, X.; Lu, L.; Li, D. and Yang, X. 2003. Preparation and performance of high-impact polystyrene (HIPS)/nano-TiO<sub>2</sub> nanocomposites, J. Appl. Polym. Sci., 87(3):381-385.
- [21] Qi, R.; Jin, X. and Zhou, C. 2006. Preparation and properties of polyethylene clay nanocomposites by an insitu graft method, J. Appl. Polym. Sci., 102(5): 4921-4927.
- [22] Cao, Y. M.; Sun, J. and Yu, D. H. 2002. Preparation and properties of nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles/polyester/epoxy resin ternary composites, J. Appl. Polym. Sci., 83(1): 70-77.
- [23] Huang, L.; Zhan, R. and Yafei, L. 2006. Mechanical properties and crystallization behaviour of polypropylene/nano-SiO<sub>2</sub> composites, J. Reinf. Plast. Compos., 25:1001-1005.
- [24] Guo, Z.; Pereira, T.; Choi, O.; Wang, Y. and Hahn, H. T. 2006. Surface functionalized alumina nanoparticle filled polymeric nanocomposites with enhanced mechanical properties, J. Mat. Chem., 16(27):2800-2808.
- [25] Marcovich, N. E.; Aranguren, M. I. and Reboredo, M. M. 2001. Modified woodflour as thermoset fillers Part I. Effect of the chemical modification and percentage of filler on the of fibre reinforced composite materials based on probabilistic micro and macro-mechanical analysis . Composites Part B: Engineering, 41(6): 446-453.
- [7] Alexandre , M. and Dubois, Ph. 2000. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials. Materials Science and Engineering. 28(1-2) : 1-63.
- [8] Sandi G. M. 2008. Effects of Nanoparticle and Matrix Interface on Nanocomposite Properties. Ph.D., Thesis, The Graduate Faculty of The University of Akron .PP 191.
- [9] Matyjaszewski, K.; Gnanou, Y. and Leibler, L. 2007. Macromolecular Engineering, Precise Synthesis, Materials Properties, Applications, Wiley, 1<sup>st</sup> Edn, 2982.
- [10] William D. Callister. 2002. Materials science and engineering: an introduction, Wiley, 6<sup>th</sup> Edn, PP848.
- [11] Chungm ,D.D.L. 2010. Composite Material Science and Application, Springer Verlag , 2<sup>nd</sup> Edn, London, PP371.
- [12] سميح، هناء عرير. 2011. تأثير التقوية بمسحوق اوكسيد الزنك على الخواص الميكانيكية لمادة متراكبة ذات اساس من البولي استر غير المشبع، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، 29(10): 474-484.
- [13] عاصي، عبد الله ضايح و عبود، احمد هادي و جواد، زهراء فخرى. 2015. دراسة الخواص الميكانيكية لمادة البولي استر غير المشبع مقوى بمسحوق التيتانيوم والالومينا، مجلة جامعة بابل - العلوم الهندسية، 23(1): 52-62.
- [14] Balta Calleja, F.J. and Fakirow, S. 2000. Microhardness of polymers. Cambridge Solid State Science Series, Cambridge University Press, New York, PP252.
- [15] Grellmann, W. and Seidler ,S. 2007. (Eds.). Polymer testing, Hanser, Munich, Germany, PP700.
- [16] حميد، أو هام محمد و دواي، انتهاء كاطع. 2014. دراسة السلوك الميكانيكي لخليط راتنج البولي استر غير المشبع والبولي ستايرين، مجلة الهندسة والتنمية، 18(5): 1-12.

- interfacial interaction and mechanical properties of PVC/nano- CaCO<sub>3</sub> composites, *Macromol. Mater. Eng.*, 290(9): 927-932.
- [28] Ahmad, F. N.; Jaafar, M.; Palaniandy, S. and Mohd Azizi, K. A. 2008. Effect of particles shape of silica mineral on the properties of epoxy composites, *Compos. Sci. Technol.*, 68(2) :346-353.
- mechanical properties. *Polymer*, 42(2001): 815-825.
- [26] Xu, X.; Li, B.; Lu, H.; Zhang, Z. and Wang, H. 2007. The interface structure of nano SiO<sub>2</sub>/PA66 composites and its influence on materials mechanical and thermal properties, *Appl. Surf. Sci.*, 254(5): 1456-1462.
- [27] Tian, M.; Chen, G. and Guo, S. 2005. Effect of high-energy vibromilling on

## Preparation of Unsaturated Polyester Nanocomposites and Studying Their Mechanical Properties Using some Inorganic Additives

*Jalil Raheef Ugal*

*Raghad Mohammed Hasson*

Department of Chemistry, College of Science for Woman, University of Baghdad, Baghdad, Iraq

Received 14/9/2015

Accepted 20/12/2015

### Abstract:

In this study three inorganic nano additives, namely; CaCO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> were used to prepare nanocomposites of unsaturated polyester in order to modify their mechanical properties, i.e .tensile strength, elongation, impact and hardness. The results indicated that all the three additives were effective to improve the mechanical properties up to 4% by weight .The effectiveness of them follows the order :



This is due to their particle size in which CaCO<sub>3</sub> (13nm), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (20-30nm) and SiO<sub>2</sub> (15-20nm).

**Key words :**Unsaturated Polyester Resin, Nano Composites, Additives.