مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (1) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (1) 2015

الخصائص الميكانيكية لمركبات(البولي استر غير المشبع/مادة مالئة) المسلحة بالألياف الزجاجية

الدكتور علي محمد علي*
الدكتور حبيب محمد محمود **
نوار شوكت ابراهيم***

(تاريخ الإيداع 23 / 9 / 2014. قُبِل للنشر في 27/ 1 / 2015)

□ ملخّص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير إضافة المواد المالئة (سيليكات الألمنيوم الصوديوم والتالك) على البولي استر غير المشبع (Unsaturated Polyester Resin)(UPR) أولاً، وعلى البولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية بنسبة (20%) ثانياً، حيث أجريت مجموعة من الاختبارات الميكانيكية شملت (اختبار الشد والانحناء)، في المرحلة الأولى من البحث تمّ دراسة تأثير إضافة المواد المالئة، سيليكات الألمنيوم الصوديوم (SAS) والتالك ومزيج سيليكات الألمنيوم الصوديوم والتالك، على البولي استر غير المشبع الغير المقوى بالألياف الزجاجية، وقد أظهرت النتائج أن أفضل القيم تمّ الحصول عليها، عند إضافة مزيج سيليكات الألمنيوم الصوديوم والتالك وفق النسبة (SAS 10% ,Talc 5%)، حيث ارتفعت قيمة متانة الشد من (31.2 MPa) إلى (33 MPa)، وارتفعت قيمة معامل المرونة أيضاً من (330 MPa) إلى (2750.5 MPa) وكذلك ارتفعت قيمة متانة الانحناء من (0.057 GPa) إلى(0.0729 GPa). في المرحلة الثانية تمّ دراسة تأثير إضافة المواد المالئة (سيليكات الألمنيوم الصوديوم والتالك، ومزيج سيليكات الألمنيوم الصوديوم والتالك)، على البولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية بنسبة (20%)، وقد أظهرت النتائج أن أفضل القيم تمّ الحصول عليها عند إضافة مزيج سيليكات الألمنيوم الصوديوم والتالك وفق النسبة (SAS 5% ,Talc 5%)، حيث ارتفعت قيمة متانة الشد من (101.7 MPa) إلى (108.8 MPa)، وارتفعت قيمة معامل المرونة أيضاً من (5616 MPa) إلى (6367.9 MPa)، وكذلك ارتفعت قيمة متانة الانحناء من (0.1203 GPa) إلى (0.1597 GPa).

الكلمات المفتاحية: شفرات العنفات الريحية، الألياف الزجاجية، سيليكات الألمنيوم الصوديوم، التالك.

*أستاذ مساعد – قسم تقانة الأغذية – كلية الهندسة التقنية – جامعة تشرين – طرطوس – سورية.
**أستاذ – قسم هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
***طالب دراسات عليا (ماجستير)– قسم هندسة القوى الميكانيكية– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (1) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (1) 2015

The mechanical properties of the Composites (unsaturated polyester/ filling material) reinforced by fiberglass

Dr. Ali Mohammad Ali*
Dr. Habib Mohammad Mahmoud **
Nawar Shawkat Ibrahim***

(Received 23 / 9 / 2014. Accepted 27 / 1 / 2015)

□ ABSTRACT □

This research aims to study the effect of addition the filling materials (sodium aluminosilicate, Talc) to the unsaturated polyester(unsaturated polyester resign)(UPR) first, and unsaturated polyester reinforced by fiberglass (20%) secondly, Number of mechanical tests were done, they included (Tensile, Flexural Strength). The effect of addition of filling materials sodium aluminosilicate (SAS), Talc, and a mixture of sodium aluminosilicate and Talc to the unreinforced polyester with fiberglass was studied in the first step of the research, and the results showed that the best values were gotten when adding a mixture of ((SAS) and Talc) at ratio (10% SAS,5% Talc), where the tensile strength value raised up from (31.2 MPa) to (33 MPa), and the elastic module value also raised up from (2330 MPa) to (2750.5 MPa) , and the flexural strength value also raised up from (0.057 GPa) to (0.0729 GPa). The effect of addition of filling materials (sodium aluminosilicate, Talc, and a mixture of sodium aluminosilicate and Talc) to the reinforced polyester with fiberglass (20%) was studied in the second step of the research, and the results showed that the best values were gotten when adding a mixture of ((SAS) and Talc) at ratio (5% SAS,5% Talc), where the tensile strength value raised up from (101.7 MPa) to (108.8 MPa), and the elastic module value also raised up from (5616 MPa) to (6367.9 MPa), and the flexural strength value raised up from (0.1203 GPa) to (0.1597 GPa).

Keywords: Wind turbines blades, fiberglass, sodium aluminosilicate, Talc.

* **Associate professor , Food Technology Department, Faculty of Technical Engineering, Tishreen University, Tartous, Syria.**

** **professor, Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

*** **Postgraduate student, Wind Energy , Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

من المعلوم أنه مع مرور الوقت، يزداد الطلب للحصول على الطاقة المتجددة مثل طاقة الرياح، لذلك شاهدنا في الآونة الأخيرة تزايداً كبيراً في حجم العنفات الريحية [1]، وتصنع شفرات العنفات الريحية عموماً من المواد المركبة المدعمة بالألياف الزجاجية، حيث تملك الألياف الزجاجية خصائص مقاومة عالية، ولكن معامل المرونة لديها ليس جيد كفاية ليستخدم بمفرده في شفرات العنفات الريحية الكبيرة، سواء أكانت المادة الأساس في المادة المركبة البولي استر غير المشبع أو الأيبوكسي [2]، وهذا يعني أن صلابة الأجزاء المصنوعة من مركبات الليف الزجاجي ليست مرتفعة كثيراً، لذلك تعمدّت بعض الشركات دمج ألياف الكربون مع الألياف الزجاجية [3]، فأصبحت الشفرة تتكون من عدة طبقات، مما أدى إلى حدوث حالات تحطم كثيرة في شفرات العنفات، بسبب تركز الإجهاد في المناطق المعرضة لحمولات كبيرة كالجذر مثلاً (بسبب اختلاف بنية المواد الداخلة في تركيب الطبقات)[4]، كما رافق ذلك زيادة كبيرة في الكلفة والتعقيد في التصميم.

إن زيادة حجم العنفات الريحية يعني زيادة مساحة الدوار (طول الشفرات المستخدمة)، وبالتالي زيادة وزن الشفرة، وهنا برز بارامتر جديد يجب أخذه بعين الاعتبار وهو أحمال الجاذبية الأرضية والذي كان يهمل في الشفرات الأصغر حجماً، لذلك وللتقليل من الوزن تمّ استخدام الأيبوكسي المدعم بالألياف الكربونية، ولكن رافق ذلك زيادة كبيرة في التكلفة، لذا سعت العديد من الشركات للتخفيف من الوزن والتكلفة معاً، ففي الولايات المتحدة الأمريكية مثلاً تمّ تطوير صناعة شفرات كبيرة اختبارية دون الحاجة لوجود سارية أساسية، حيث تصنع الشفرة من الأيبوكسي المدعم بالألياف الزجاجية والكربونية [5]، ولكن رغم الانتهاء من التجارب لم يلاحظ انتشار هذا النوع من الشفرات والسبب خوف بعض المصنعين من عدم وجود سارية أساسية.

أهمية البحث وأهدافه:

اعتمد إنتاج شفرات العنفات الريحية الكبيرة على عدة طرائق: إحدى هذه الطرق دمج ألياف الكربون والألياف الزجاجية مع بعضها، حيث أنتجت بعض الشركات الألمانية عنفات كبيرة بلغت طاقة الخرج لديها حوالي 5 MW [6]، إلا أن ذلك أدى إلى العديد من حالات الانهيار في شفرات العنفات الريحية كما مر سابقاً، كما أن بعض الشركات المصنعة للشفرات العنفات الريحية، عمدت إلى تطوير صناعة شفرات كبيرة دون الحاجة لوجود سارية أساسية إلا أن ذلك النوع من الشفرات لم ينتشر بشكل كبير.

لذلك تركّز هذه الدراسة التجريبية على زيادة صلابة ومرونة شفرات العنفات الريحية المكونة من البولي استر غير المشبع(UPR)، كمادة أساس والمدعم بالألياف الزجاجية، وذلك بإضافة مواد مالئة على شكل بودرة (سيليكات الألمنيوم الصوديوم والتالك)، حيث تضاف هذه المواد إلى البنية المركبة، وذلك بغية استخدام الألياف الزجاجية فقط في شفرات العنفات الريحية الكبيرة دون الحاجة إلى استخدام الألياف الكربونية.

طرائق البحث ومواده:

تعد المواد المركبة ذات الأساس البوليميري من المواد التي تلعب دور مهم في معظم التطبيقات الهندسية والتكنولوجية، و تتكون المادة المركبة المستخدمة في صناعة شفرات العنفات الريحية، من المادة الأساس كراتنج الأيبوكسي والبولي استر غير المشبع، ومن مادة التقوية وهي أحد المكونات الأساسية للمواد المركبة، حيث تضاف إلى

المادة الأساس لغرض تقويتها وبالتالي تحسين مواصفاتها [9–8–7]، وتصنف مواد التقوية إلى الألياف (والتي تكون مستمرة أو متقطعة أو حصيرة) والدقائق (بودرة) والتي تكون بقطر أكبر من (1μm)، وفي هذه الدراسة تم استخدام سيليكات الألمنيوم الصوديوم والتالك كمواد مالئة على شكل بودرة، من أجل تحسين بعض الخصائص الميكانيكية للبولي استر غير المشبع (UPR).

تمت صناعة العينات من راتنج البولي استر غير المشبع (UPR) نوع (O–Phthalic Anhydride Basesd) كمادة أساس في تحضير المواد المركبة البوليميرية، وتمت صناعة هذا النوع من البولي استر غير المشبع من قبل الشركة الأردنية (Intermediate Petrochemicals Industries Co.Ltd)، ويتميز هذا الراتنج بلونه الأصفر الغامق وتبلغ كثافته ($1200\ kg/m^3$)، أما لزوجته (400 MPa.s)، بينما تبلغ درجة الانصهار ($288c^{\circ}$) واستعملت مادة اكتوات كوبالت [10]، حيث تضاف بنسبة (0.5 gm) لكل (100 gm) لهذا النوع من الراتنج، وذلك من أجل تسريع التفاعل، وبعدها يتم إضافة المصلب من النوع (benyoyl peroxide) إلى راتنج البولي استر غير المشبع بنسبة (2%)، وذلك بغية تحويل الراتنج إلى الحالة الصلبة، وتمّ اختيار نسب كل من الكوبالت والمصلب، بعد إجراء عدة تجارب عملية تتعلق باختيار درجة التصلب للبولي استر غير المشبع المستخدم، عن طريق التحكم بالمادة المسرعة والمادة المصلبة، حيث كانت أفضل النتائج لإعطاء الوقت المناسب أثناء تحضير العينة دون أن تتصلب، هي عند النسب السابقة من الكوبالت والمصلب، حيث لوحظ أنّ زيادة الكوبالت أكثر من النسبة السابقة يسرع التفاعل، بشكل لايسمح لنا بوضع مزيج البولي استر غير المشبع مع المواد المالئة، على كامل طبقات الألياف الزجاجية، كما تبينّ أنّ إضافة المصلب بنسبة أقل من (2%)، عدم تحول كامل المزيج إلى الحالة الصلبة (ظهور طبقة لزجة على سطح العينة).

استخدمت طريقة القولبة اليدوية في صناعة العينات، حيث تمّ صب العينات في قالب من الزجاج ذو أبعاد داخلية cm(0.5×12×23)، وتم سكب المزيج في القالب وفق جريان بسيط، مع ضمان ملء القالب بالكامل بالمزيج من أجل المحافظة على السماكة المطلوبة، أما فيما يتعلق بالعينات المدعمة بالألياف الزجاجية يتم أولا سكب كمية قليلة من المزيج، وبعدها توضع طبقة من الألياف الزجاجية العشوائية على البوليستر، وتدهن هذه الطبقة بالمزيج بواسطة فرشاة ناعمة، وبعدها توضع طبقة من الألياف الزجاجية من نوع الحصيرة، وهكذا حتى يتم ملئ القالب بالكامل، وتمّ استخدام ثلاث طبقات من الألياف الزجاجية من النوع العشوائي وطبقتين من النوع الحصيرة، مع العلم أنه تمت صناعة الألياف الزجاجية من قبل الشركة السعودية (Glass Fiber Technology Co.Ltd)

أما فيما يتعلق باختيار نسبة تقوية بالألياف الزجاجية (20%)، فقد تمّ في البداية أخذ نسب مختلفة للتقوية بالألياف الزجاجية تراوحت من (5%) إلى (30%)، ولكن كانت أفضل النتائج التي تمّ الحصول عليها، هي عند نسبة تقوية (20%)، فعند النسب المنخفضة من التقوية بالألياف، لم نحصل على مرونة وصلابة كافين لإجراء تطبيقات تتعلق بصناعة شفرة العنفة الريحية، وعند النسب الأعلى من (20%)، حصلنا على عينات ذات صلابة منخفضة جداً، وذات مرونة عالية، وبالتالي لانستطيع اعتماد هذه النسب من أجل صناعة شفرات العنفات الريحية.

الاختبارات الميكانيكية

تم إجراء عدة اختبارات ميكانيكية للتعرف على خواص المادة المتراكبة، وهذه الاختبارات هي:

1. اختبار مقاومة الشد :

استخدم هذا الاختبار لمعرفة خواص المواد المركبة تحت تأثير حمل شد محوري باتجاه واحد، حيث تمّ استخدام جهاز **(Ibertest)** الاسباني الصنع، وذلك في مخبر مقاومة المواد في كلية الهندسة التقنية بطرطوس، وتمّ اقتطاع نماذج اختبار الشد من العينات بأبعاد (21×2×0.5) cm ، وتمّ اعتماد الأبعاد السابقة، نظراً لعدم وجود شكل هندسي محدد لإجراء الاختبار، وذلك لأن البرنامج الموصول مع الجهاز، يتم إدخال البارمترات إليه مهما كانت، لذلك اعتمدنا النماذج المستطيلة الشكل لكلا الاختبارين الشد والانحناء(أبعاد واحدة لكلا الاختبارين)، حيث يتم إدخال البارمترات التالية الطول والعرض والسماكة سواء للشد والانحناء.

2. اختبار مقاومة الانحناء :

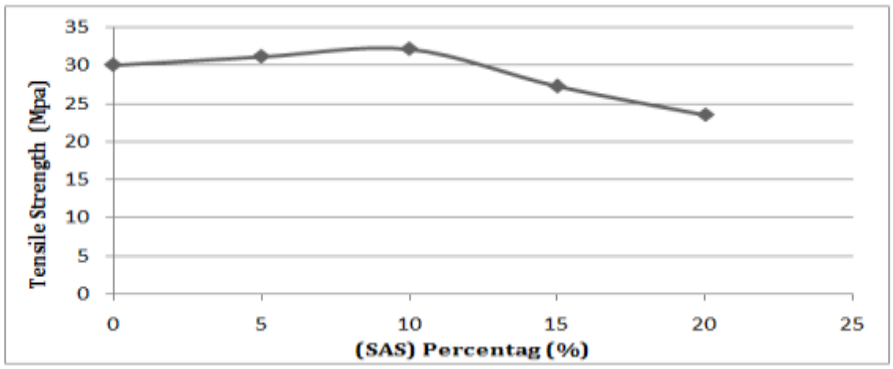
يمكن الحصول على مقاومة الانحناء بطريقة الاختبار ثلاثي النقاط، ويتم ذلك باستخدام مكبس هيدروليكي متعدد الأغراض لقياس أقصى حمل مسلط على منتصف نموذج الاختبار، حيث استخدم نفس الجهاز وذلك بعد تعديله، وتمّ اقتطاع نماذج اختبار الانحناء من العينات بأبعاد (21×2×0.5) cm، كما مرّ سابقاً.

النتائج والمناقشة:

متانة الشد

تأثير إضافة (SAS):

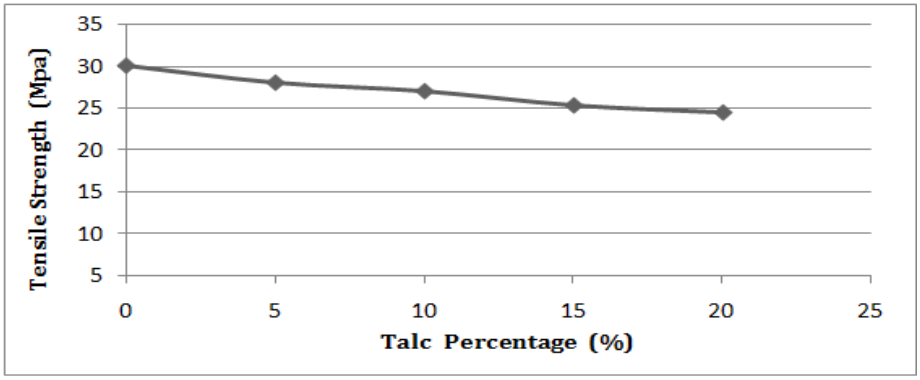
يوضح الشكل (1) تأثير إضافة سيليكات الألمنيوم الصوديوم (SAS) على متانة الشد للبولي استر غير المشبع ونلاحظ من المنحني ازدياد قيمة متانة الشد مع كل زيادة في كمية (SAS)، وتبلغ متانة الشد قيمة أعظمية عند النسبة (10%) حيث بلغت (32 MPa)، ويعلل تزايد متانة الشد بسبب سهولة تغلغل مادة الأساس بين دقائق (SAS)، مما خلق سطوح تامة بين مادة الأساس ودقائق (SAS)، ويعلل انخفاض قيمة متانة الشد بعد النسبة (10%) بسبب زيادة نسبة (SAS) مما أدى إلى صعوبة تغلغل مادة الأساس بين دقائق (SAS)، والتي لوحظت عملياً في أثناء عملية تحضير العينات (صعوبة تحريك المزيج أي لزوجة عالية)، وأدى ذلك إلى التقليل من قوة التلاصق الحاصلة بين (SAS) والبولي استر غير المشبع (ترطيب ضعيف بين المادة الأساس ومادة التقوية)، مما خلق العديد من العيوب داخل المادة المركبة، وسبب ذلك توليد العديد من المناطق التي يتركز فيها الإجهادات والتي تعجل من الانهيار.



الشكل (1): تأثير (SAS) على متانة الشد للبولي استر غير المشبع

- تأثير إضافة التالك:

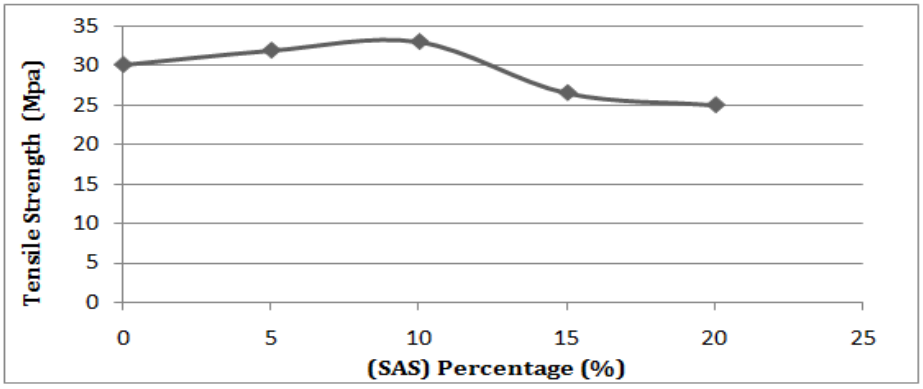
يبيّن الشكل (2) تأثير إضافة التالك على متانة الشد للبولي استر غير المشبع ، ونلاحظ من المنحني انخفاض متانة الشد للبولي استر مع كل زيادة في نسبة مادة التالك، ويعلل ذلك نتيجة عدم التوافق بين المادة الأساس ودقائق التالك من ناحية خواص الشد، حيث تقل كفاءة نقل الحمل المسلط على المادة المركبة، وبالتالي سوف تتحطم المادة المركبة المحضرة بإجهاد أقل مع كل زيادة في نسبة مادة التالك.



الشكل (2): تأثير إضافة التالك على متانة الشد للبولي استر غير المشبع

تأثير إضافة (SAS,Talc):

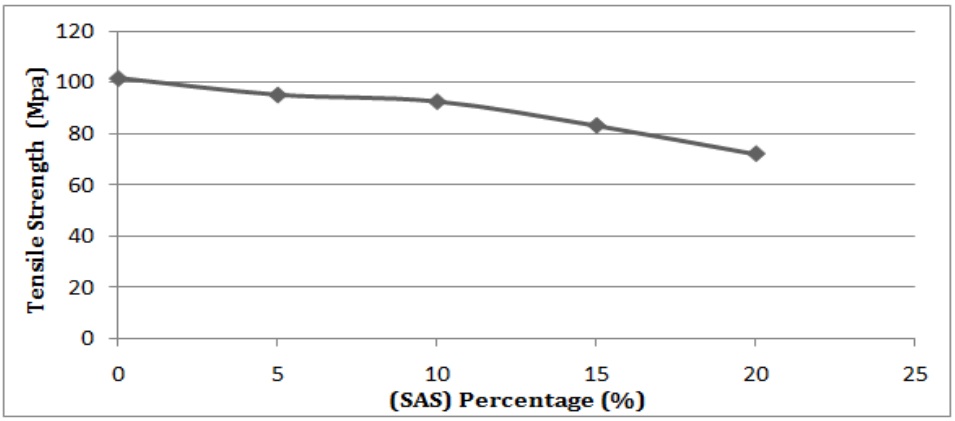
يوضح الشكل (3) تأثير إضافة المزيج من المادتان (SAS) والتالك، على متانة الشد للبولي استر غير المشبع حيث تمّ تثبيت مادة التالك عند النسبة 5%، وتم تغير نسبة مادة (SAS) بدءاً من النسبة 5% حتى النسبة (20%)، ونلاحظ من المنحني ازدياد قيمة متانة الشد مع كل زيادة في كمية (SAS)، وتبلغ متانة الشد عند النسبة (5% Talc , 10% SAS) قيمة أعظمية (33MPa)، وهذه القيمة التي حصلنا عليها أعلى من قيمة متانة الشد للبولي استر المضاف له (SAS) بنسبة (10%)، ويعلل انخفاض قيمة متانة الشد بعد النسبة (10%) بسبب زيادة نسبة (SAS)، مما أدى إلى صعوبة تغلغل مادة الأساس بين دقائق مادتي (SAS) والتالك، والتي لوحظت عملياً في أثناء عملية تحضير العينات (صعوبة تحريك المزيج أي لزوجة عالية)، مما قلل من قوة التلاصق الحاصلة بين البولي استر و(SAS) والتالك، وسببّ ذلك تولد العديد من المناطق التي يتركز فيها الإجهادات والتي تعجل من الانهيار.



الشكل (3): تأثير إضافة (SAS) على متانة الشد للبولي غير المشبع عند قيمة ثابتة للتالك (5%)

تأثير إضافة (SAS) والألياف الزجاجية:

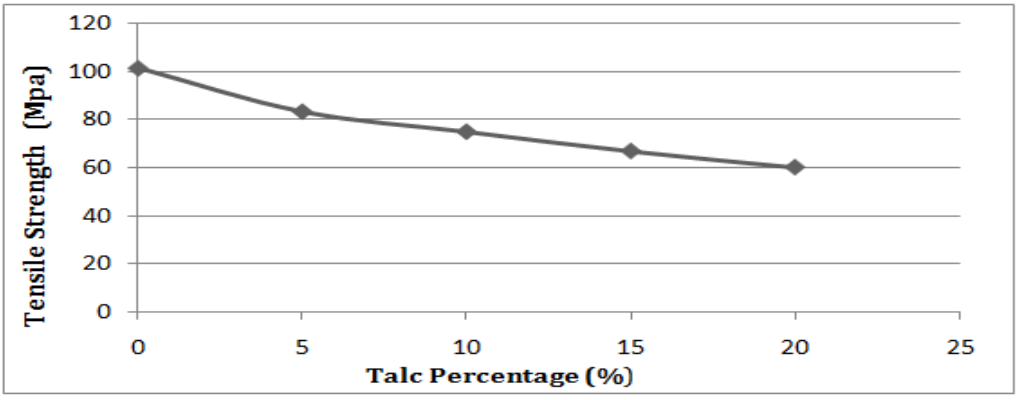
يبّين الشكل (4) تأثير إضافة (SAS) على متانة الشد للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف زجاجية بنسبة (20%)، ونلاحظ من المنحني أدناه انخفاض متانة الشد للبولي ستر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية مع كل زيادة في نسبة مادة (SAS)، والسبب هو عدم التوافقية بين مادة (SAS) والألياف الزجاجية من ناحية متانة الشد.



الشكل(4): تأثير إضافة (SAS) على متانة الشد للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية بنسبة (20%)

تأثير إضافة التالك والألياف الزجاجية:

يبّين الشكل (5) تأثير إضافة التالك على متانة الشد للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف زجاجية بنسبة (20%)، ونلاحظ من المنحني أدناه انخفاض متانة الشد للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية، مع كل زيادة في نسبة التالك، والسبب هو عدم التوافقية بين التالك والبولي استر غير المشبع من جهة والتالك والألياف الزجاجية من جهة أخرى من ناحية متانة الشد.

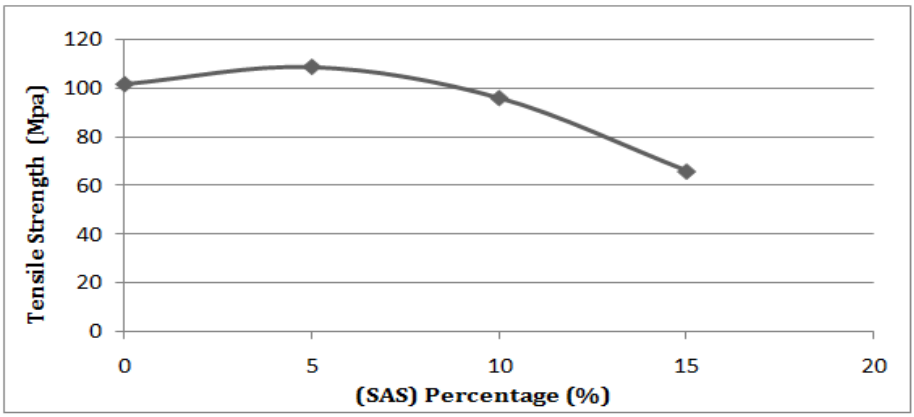


الشكل (5) : تأثير إضافة التالك على متانة الشد للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية بنسبة (20%)

تأثير إضافة (SAS,Talc) والألياف الزجاجية:

يبيّن الشكل (6) تأثير إضافة المزيج من المادتان (SAS) والتالك، على متانة الشد للبولي استر غير المشبع غير المشبع المقوى بالألياف زجاجية بنسبة (20%)، حيث تمّ تثبيت التالك عند النسبة (5%) بينما تمّ تغير نسبة (SAS) من % (15-5)، ولم نستطع استخدام النسبة (20% SAS , 5% Talc)، بسبب صعوبة دهن طبقات

الألياف الزجاجية بالفرشاة عند هذه النسبة(للزوجة العالية للمزيج) ونلاحظ من المنحني أنّ متانة الشد عند النسبة (5% SAS , 5% Talc) تبلغ قيمة عظمى (108.8 MPa) ثم تبدأ بعد ذلك بالانخفاض، ومن المعلوم أن مادتي (SAS) والتالك تتكون من عدد من الأكاسيد، حيث أن مجموع هذه الأكاسيد يشكل مزيج يقارب من حيث البنية بنية الألياف الزجاجية. وبالتالي حصلنا على توافقية بين مادة الأساس ودقائق المزيج من جهة، ومابين دقائق المزيج والألياف الزجاجية من جهة أخرى، مما أدى إلى زيادة متانة الشد عند هذه النسبة، ولكن من الملاحظ أيضا مع زيادة نسبة (SAS) إلى نسبة أعلى من (5%) في أثناء عملية تحضير العينات، قلل من قوة التلاصق الحاصلة بين سطحي مادة الأساس والألياف الزجاجية من جهة وسطوح الدقائق والألياف الزجاجية من جهة أخرى، وعليه فإن عملية تبلل سطوح الألياف والدقائق عن طريق المادة الأساس قبل تصلبها ستكون غير تامة، مما أدى إلى إضعاف الترابط بين المادة الأساس والمواد المالئة، وبالتالي أدى ذلك إلى تولد العديد من المناطق لتركيز الإجهادات التي تعجل عملية الأنهيار.

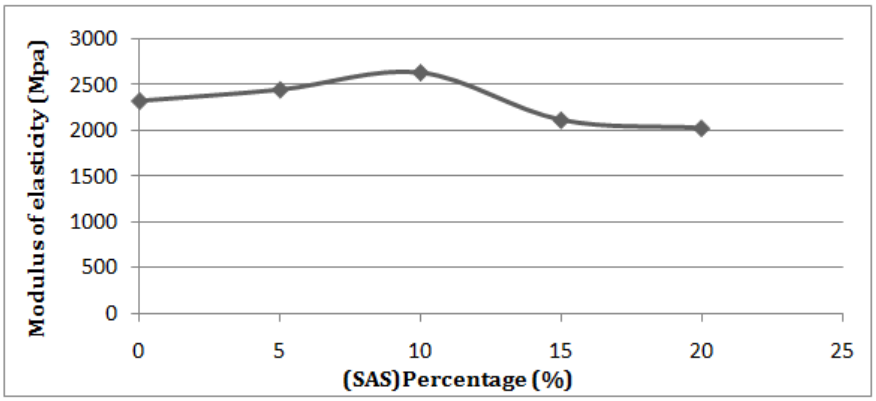


الشكل (6) :تأثير إضافة (SAS) على متانة الشد لخلائط (UPR /glass fiber/Talc:70/20/5)

2. معاملات المرونة:

2-1- تأثير إضافة (SAS):

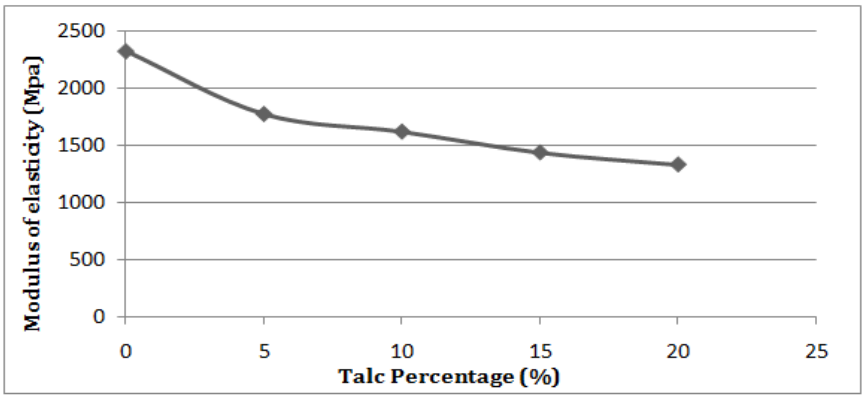
يبيّن الشكل (7) تأثير إضافة سيليكات الألمنيوم الصوديوم (SAS) على معامل المرونة للبولي استر غير المشبع، ونلاحظ من المنحني أن معامل المرونة يبلغ قيمة أعظمية MPa (2640.4) عند النسبة (SAS) 10% وتعلل الزيادة في قيمة معامل المرونة بسبب مساهمة دقائق (SAS) في تحمل الجهد المسلط على المادة المركبة بالإضافة إلى التوزيع المتجانس لدقائق(SAS) داخل أرضية مادة الأساس البوليميرية سوف تعمل على حصر حركة المادة الأساس، وبالتالي تخفيض قيم الانفعال للمادة المركبة مما أدى إلى زيادة قيمة معامل المرونة عند هذه النسبة.



الشكل (7) : تأثير إضافة (SAS) على معامل المرونة للبولي استر غير المشبع

2-2- تأثير إضافة التالك:

يبيّن الشكل (8) تأثير إضافة التالك على معامل المرونة للبولي استر غير المشبع، ونلاحظ من المنحني انخفاض قيمة معامل المرونة للبوليستر مع كل زيادة في نسبة التالك، ويعلل ذلك نتيجة عدم التوافقية بين المادة الأساس ودقائق التالك من ناحية خواص المرونة، كما أن جزيئات التالك لاتملك معامل مرونة على الشد كالبولي استر غير المشبع، وبالتالي نلاحظ أنه مع كل زيادة في نسبة التالك كان على حساب مادة البولي استر غير المشبع، وأدى ذلك في النهاية إلى انخفاض معامل المرونة.

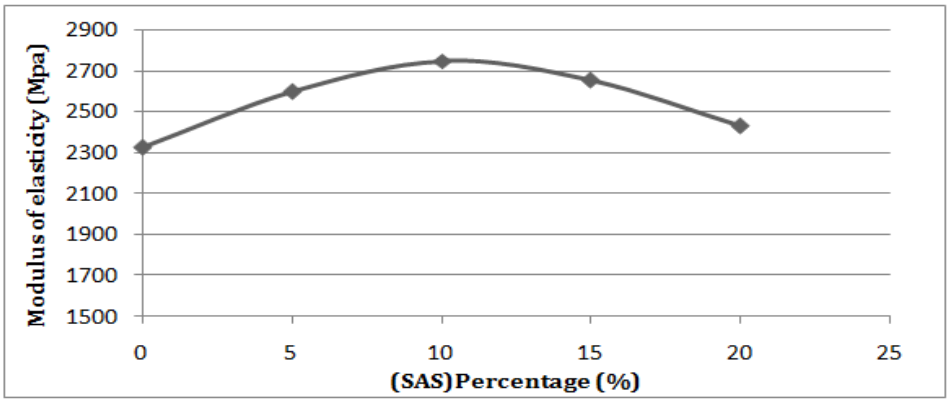


الشكل (8) : تأثير إضافة التالك على معامل المرونة للبولي استر غير المشبع

تأثير إضافة (SAS,Talc):

يبّين الشكل (9) تأثير إضافة المزيج من المادتان (SAS) والتالك، على معامل المرونة للبولي استر غير المشبع حيث تمّ تثبيت مادة التالك عند النسبة 5%، وتم تغير نسبة مادة (SAS) بدءاً من النسبة 5% حتى النسبة (20%)، ونلاحظ من المنحني ازدياد قيمة معامل المرونة مع كل زيادة في نسبة مادة (SAS)، ويبلغ قيمة أعظمية (2750.5) MPa عند النسبة (5% Talc , 10% SAS)، وهذا يعود إلى مساهمة دقائق مزيج (SAS) والتالك في تحمل الجهد المسلط على المادة المركبة، وإن التوزيع المتجانس لدقائق مزيج (SAS) والتالك داخل أرضية مادة الأساس البوليميرية سوف يعمل على حصر حركة المادة الأساس، وبالتالي تخفيض قيم الانفعال للمادة المركبة مما أدى إلى زيادة معامل المرونة عند هذه النسبة، ونلاحظ من المنحني أيضاً أنّ قيمة معامل المرونة عند النسبة 10%)

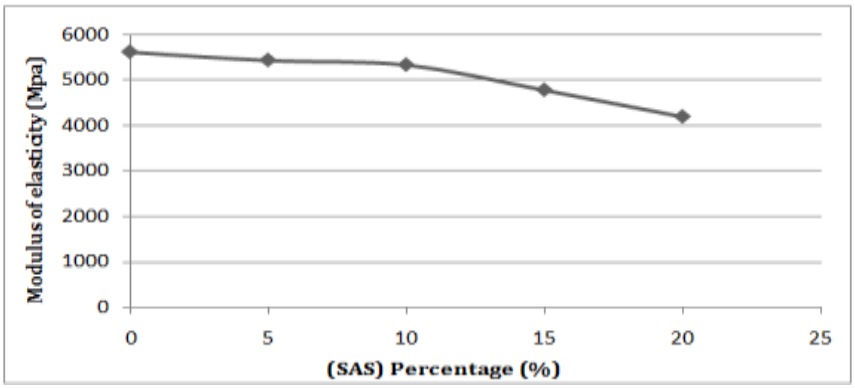
(SAS , 5% Talc، هي أعلى من القيمة التي حصلنا عليها عند إضافة (SAS) فقط إلى البولي استر غير المشبع أي عند النسبة (10%SAS)، وهذا يعود إلى قدرة جزيئات مزيج التالك و(SAS) على تخفيض قيم الانفعال للمادة المركبة بشكل كبير.



الشكل (9): تأثير إضافة (SAS) على معامل المرونة للبولي استر غير المشبع عند قيمة ثابتة للتالك (5%)

تأثير إضافة (SAS) والألياف الزجاجية:

يبيّن الشكل (10) تأثير إضافة (SAS) على معامل المرونة للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف زجاجية بنسبة (20%)، ونلاحظ من المنحني أدناه انخفاض قيم معامل المرونة للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجي مع كل زيادة لمادة (SAS)، والسبب هو عدم التوافقية بين مادة (SAS) والألياف الزجاجية من ناحية خواص المرونة، مما أدى إلى عدم القدرة على حصر حركة المادة الأساس، وبالتالي زيادة قيم الانفعال للمادة المركبة ونقصان قيم معامل المرونة مع كل زيادة في نسبة (SAS).

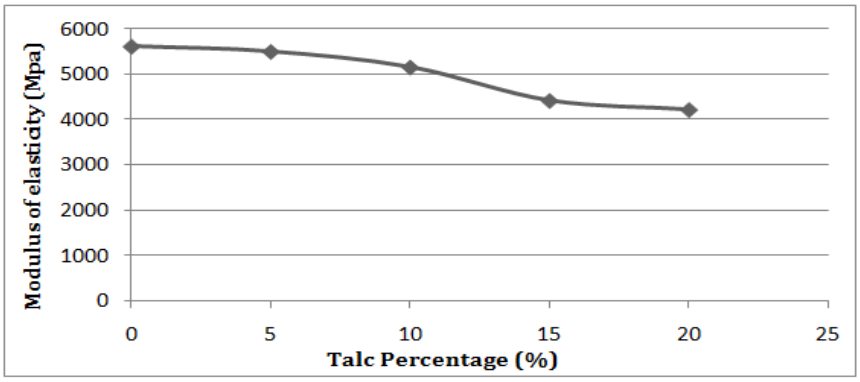


الشكل (10) : تأثير إضافة (SAS) على معامل المرونة للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية بنسبة (20%)

تأثير إضافة التالك والألياف الزجاجية:

يبّين الشكل (11) تأثير إضافة التالك على معامل المرونة للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف زجاجية بنسبة (20%)، ونلاحظ من المنحني انخفاض قيمة معامل المرونة للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية والتالك مع كل زيادة في نسبة التالك، والسبب هو عدم التوافق بين دقائق التالك والبولي استر غير المشبع من جهة،

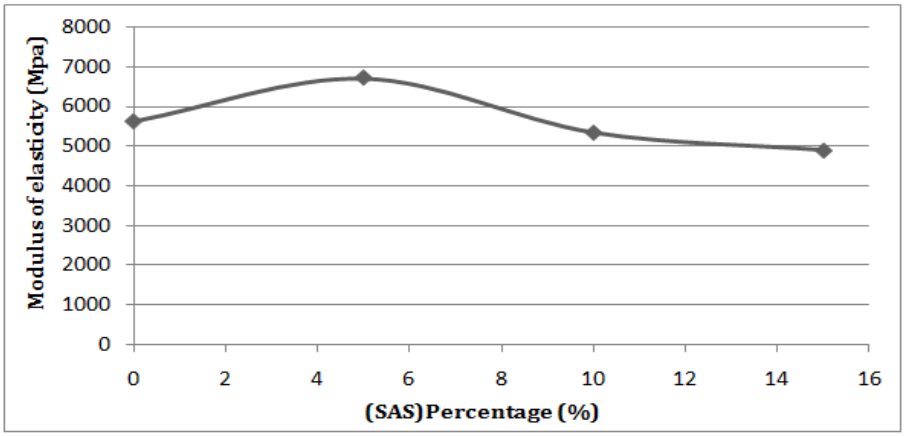
ودقائق التالك والألياف الزجاجية من جهة أخرى، أي عدم القدرة على حصر حركة المادة الأساس، وبالتالي زيادة في قيم الانفعال للمادة المركبة، مما أدى في النهاية إلى انخفاض في قيم معامل المرونة مع كل زيادة في نسبة التالك.



الشكل (11) : تأثير إضافة التالك على معامل المرونة للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية بنسبة (20%)

تأثير إضافة (SAS,Talc) والألياف الزجاجية:

يبّين الشكل (12) تأثير إضافة المزيج من المادتان (SAS) والتالك، على متانة الشد للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف زجاجية بنسبة (20%)، حيث تمّ تثبيت التالك عند النسبة (5%) بينما تمّ تغير نسبة (SAS) من % (5–15)، ونلاحظ من المنحني ازدياد قيمة معامل المرونة حيث يصل إلى قيمة أعظمية MPa (6367.9) عند النسبة (5% Talc , 5% SAS)، ويعلل ذلك نتيجة التوافقية العالية بين دقائق البولي استر غير المشبع ودقائق المزيج من مادتي (SAS) والتالك من جهة، ودقائق المزيج والألياف الزجاجية من جهة أخرى، مما ولد قوة تلاصق كبيرة في المادة المركبة، وبالتالي تمّ تقيد حركة المادة الأساس (انخفاض قيم الانفعال للمادة المركبة)، مما أدى إلى زيادة قيمة معامل المرونة، ولكن بعد النسبة SAS (10%) قلت قوة التلاصق، نتيجة زيادة نسبة (SAS) وبالتالي أدى ذلك إلى زيادة قيم الانفعال.

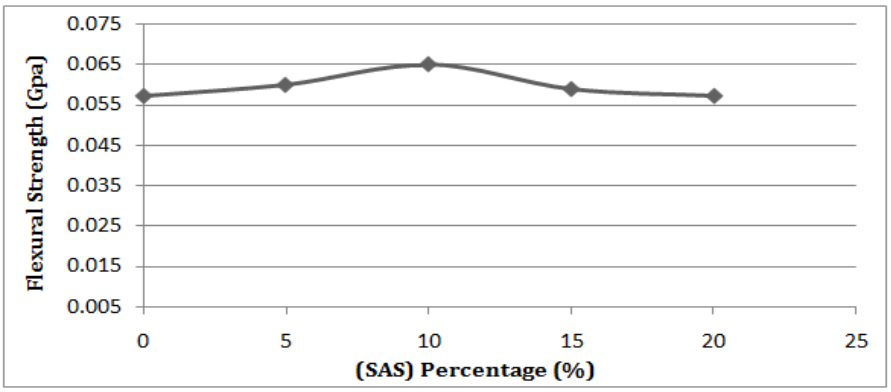


الشكل (12): تأثير إضافة (SAS) على معامل المرونة لخلائط (UPR/glass fiber/Talc:70/20/5)

متانة الانحناء

تأثير إضافة (SAS):

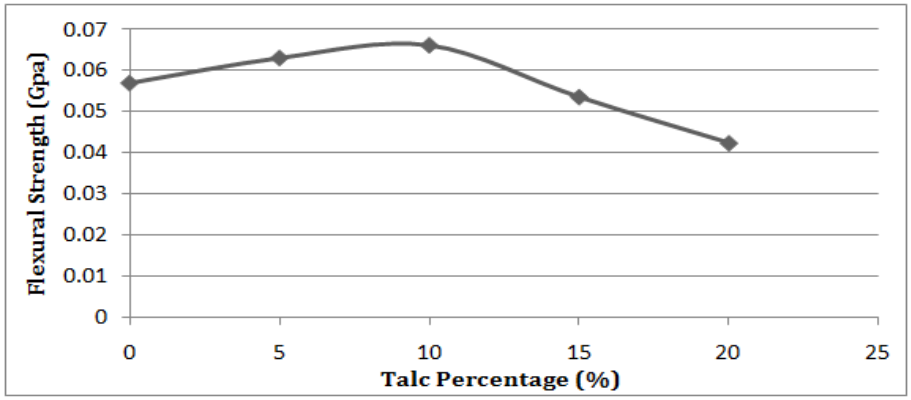
يوضح الشكل (13) تأثير إضافة سيليكات الألمنيوم الصوديوم (SAS) على متانة الانحناء للبولي استر غير المشبع، ونلاحظ من المنحني ازدياد قيمة متانة الانحناء مع كل زيادة في مادة (SAS)، وتبلغ الزيادة قيمة أعظمية GPa (0.065) عند النسبة (10% SAS)، ونلاحظ أيضاً أنه عند هذه النسبة قد حصلنا على زيادة في معامل المرونة على (الشد والانحناء)، إذ من المعلوم أنه في اختبار الانحناء تتعرض العينة إلى ثلاث إجهادات في نفس الوقت، هي إجهاد الشد الذي يحصل عند السطح الخارجي للعينة، وإجهاد الانضغاط الذي يحصل على السطح الداخلي للعينة، وإجهاد القص الذي يحصل عند السطح البيني، حيث تفشل المادة المركبة بتأثير أحد هذه الإجهادات الثلاث، وذلك اعتماداً على نوع مادة التقوية والمادة الأساس وقوة الترابط بينهما.



الشكل (13): تأثير إضافة (SAS) على متانة الانحناء للبولي استر غير المشبع

تأثير إضافة التالك:

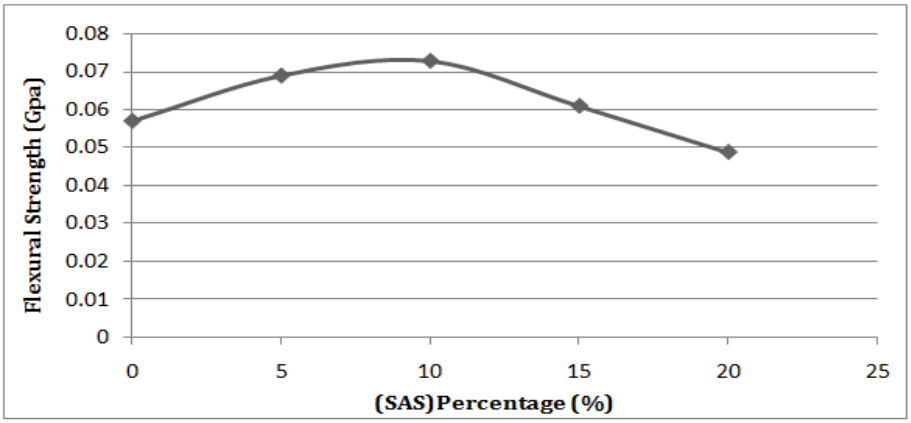
يبيّن الشكل (14) تأثير إضافة التالك على متانة الانحناء للبولي استر غير المشبع، ونلاحظ من المنحني ازدياد قيمة متانة الانحناء مع كل زيادة في مادة التالك، وتبلغ الزيادة قيمة أعظمية GPa (0.0662) عند النسبة (10%) أي يمكن القول أن التالك يملك معامل مرونة جيد على الانحناء.



الشكل (14): تأثير إضافة التالك على متانة الانحناء للبولي استر غير المشبع

تأثير إضافة (SAS,Talc):

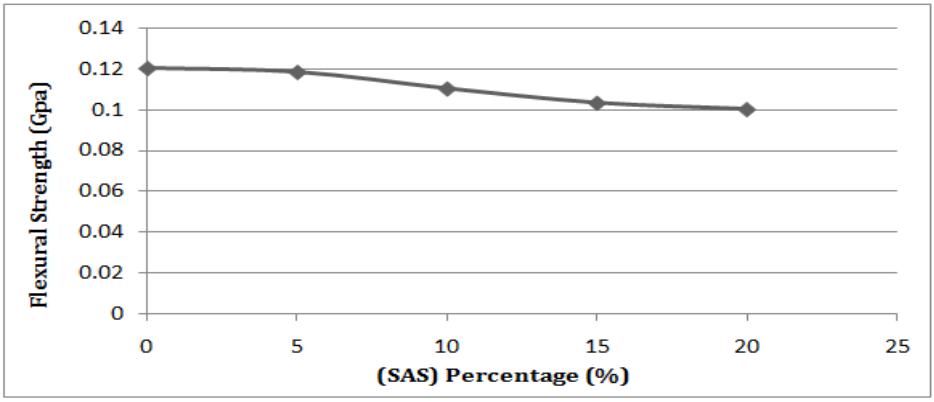
يوضح الشكل (15) تأثير إضافة المزيج من المادتان (SAS) والتالك، على متانة الشد للبولي استر غير المشبع حيث تمّ تثبيت مادة التالك عند النسبة 5%، وتم تغير نسبة مادة (SAS) بدءاً من النسبة 5% حتى النسبة (20%)، ونلاحظ من المنحني أن قيمة متانة الانحناء تصل إلى قيمتها الأعظمية Gpa (0.0729) عند النسبة (10% SAS, 5% Talc) وأن هذه القيمة أعلى من جميع القيم التي مرت في المنحنيات السابقة، وبالتالي نستنتج أن مزيج مادتي التالك و(SAS) يمتلك خصائص مرونة جيدة على الشد والانحناء.



الشكل (15): تأثير إضافة (SAS) على متانة الانحناء للبولي استر غير المشبع عند قيمة ثابتة للتالك (5%)

تأثير إضافة (SAS) والألياف الزجاجية:

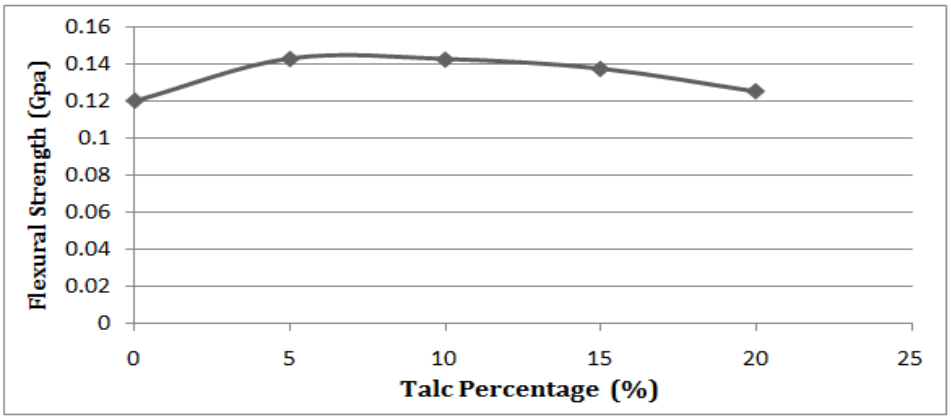
يبّين الشكل (16) تأثير إضافة (SAS) على متانة الشد للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف زجاجية بنسبة (20%)، ونلاحظ من المنحني انخفاض قيمة متانة الانحناء للبولي ستر المقوى بالألياف الزجاجية و والمضاف له (SAS) مع كل زيادة في نسبة مادة (SAS)، وبالتالي نستنتج من ذلك عدم التوافقية الجيدة بين مزيج البولي ستر غير المشبع و(SAS) والألياف الزجاجية من ناحية الخواص الانحنائية، والتي تزداد مع كل زيادة في نسبة (SAS) حيث أدى ذلك إلى نقصان قوة التلاصق بين المادة الأساس والألياف الزجاجية مع كل زيادة في مادة (SAS).



الشكل (16) : تأثير إضافة (SAS) على متانة الانحناء للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية بنسبة (20%)

تأثير إضافة التالك والألياف الزجاجية:

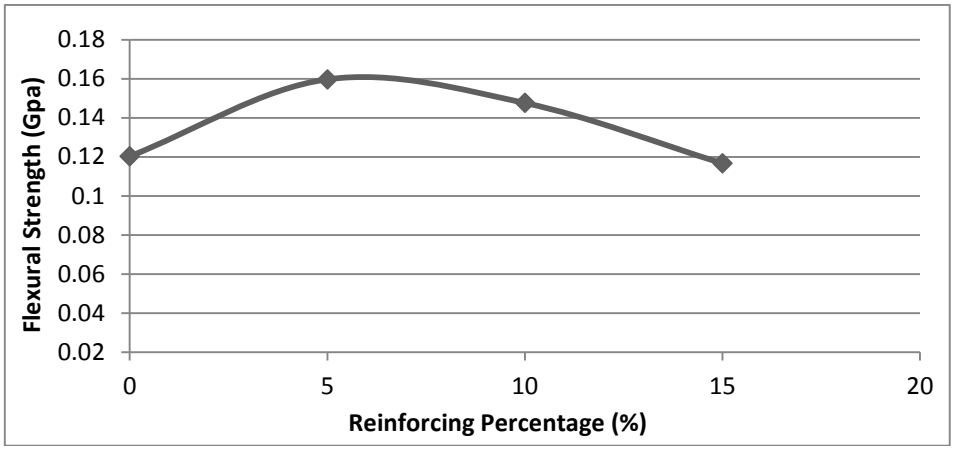
يبين الشكل (17) تأثير إضافة التالك على متانة الانحناء للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف زجاجية بنسبة (20%)، ونلاحظ من المنحني تزايد متانة الانحناء للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية والمضاف له مادة التالك، وتبلغ قيمتها الأعظمية GPa (0.1427) عند نسبة إضافة (5% Talc)، وهذا يدل على امتلاك جزيئات التالك متانة عالية تجاه الإجهاد الانضغاطي والقص، أي يمكن القول أن هناك توافقية جيدة بين جزيئات التالك ومادة الأساس وجزيئات التالك والألياف الزجاجية من ناحية الخواص الانحنائية، ولكن يتناقص هذا التوافق بعد النسبة (5%) لمادة التالك بسبب نقصان قوة التلاصق، مما يؤدى إلى إضعاف الترابط بين المادة الأساس والمادة المالئة.



الشكل (17) : تأثير إضافة التالك على متانة الانحناء للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية بنسبة (20%)

تأثير إضافة (SAS,Talc) والألياف الزجاجية:

يبين الشكل (18) تأثير إضافة المزيج من المادتان (SAS) والتالك، على متانة الشد للبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف زجاجية بنسبة (20%)، حيث تمّ تثبيت التالك عند النسبة (5%) بينما تمّ تغير نسبة (SAS) من % (5–15)، ونلاحظ من المنحني ازدياد متانة الانحناء مع كل زيادة في نسبة (SAS)، وهذا يدل على أن مزيج التالك و(SAS) يشكل مزيج ذو توافقية جيدة من ناحية الخواص الانحنائية، مع المادة الأساس من جهة والألياف الزجاجية من جهة أخرى، حيث يعتبر تكوين هذا المزيج مقارب لتكوين الألياف الزجاجية عند النسبة (5% Talc , 5% SAS)، حيث بلغت متانة الانحناء قيمتها العظمى GPa (0.1597)، ولكن من الملاحظ أيضاً مع زيادة نسبة (SAS) إلى أعلى من النسبة (5%) أثناء عملية تحضير العينات، قلل من قوة التلاصق الحاصلة بين سطحي مادة الأساس ودقائق المزيج من جهة، وسطوح الدقائق الألياف الزجاجية من جهة أخرى، وعليه فإن عملية تبلل سطوح الألياف والدقائق عن طريق المادة الأساس قبل تصلبها ستكون غير تامة، وبالتالي أدى ذلك إلى توليد العديد من المناطق التي يتركز فيها الإجهادات والتي تعجل عملية الانهيار.



الشكل (18): تأثير إضافة (SAS) على متانة الانحناء لخلائط (UPR/glass fiber/Talc:70/20/5)

الاستنتاجات والتوصيات:

من المعلوم أنه في الوقت الحاضر تستخدم طرق مختلفة لصناعة شفرات العنفات الريحية الكبيرة كما مر سابقاً، ولكن رافق صناعة الشفرات وفق هذه الطرق زيادة كبيرة في التكلفة بغية تخفيف الوزن، حيث تمّ استخدام الألياف الكربونية الباهظة الثمن، لذلك قمنا في هذه الدراسة بإضافة مواد مالئة رخيصة الثمن إلى البولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية وذلك بغية تخفيف الوزن والتكلفة وقد توصلنا إلى النتائج التالية:

1- ازدياد قيمة متانة الشد، وكذلك معامل المرونة عند إضافة سيليكات الألمنيوم الصوديوم إلى البولي استر غير المشبع فقط، حيث بلغت متانة الشد قيمتها الأعظمية (32 MPa) عند نسبة إضافة لمادة (SAS) بلغت (10%) وأيضاً بلغ معامل المرونة قيمة أعظمية (2640.4 MPa) عند هذه النسبة، بينما أدى إضافة سيليكات الألمنيوم الصوديوم إلى البولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية بنسبة 20% إلى انخفاض في قيمة متانة الشد ومعامل المرونة مع كل زيادة في نسبة مادة (SAS).

2- تبين عند إضافة التالك فقط إلى البولي استر غير المشبع انخفاض قيمة متانة الشد وكذلك معامل المرونة مع كل زيادة في نسبة التالك، كما أدى إضافة التالك إلى البولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية بنسبة (20%)، إلى انخفاض في قيمة متانة الشد ومعامل المرونة مع كل زيادة في نسبة مادة التالك.

3- تشكل مادة سيليكات الألمنيوم الصوديوم (SAS) والتالك مزيج جيداً مع مادة البولي استر غير المشبع من ناحية خواص الشد، حيث ساهم إضافة هذا المزيج إلى تحسن متانة الشد ومعامل المرونة، وبلغت متانة الشد قيمتها العظمى (33Mpa) عند نسبة إضافة (10% SAS , 5% Talc)، وكذلك بلغ معامل المرونة قيمة أعظمية (2750.5 MPa) عند هذه النسبة أيضاً، وأن هذه القيم أعلى من القيم التي حصلنا عليها البولي استر غير المشبع المضاف له مادة (SAS) بنسبة (10%). كما أدى إضافة مزيج (SAS) والتالك إلى البولي استر غير المشبع المقوى بالألياف زجاجية بنسبة (20%) إلى زيادة قيمة متانة الشد ومعامل المرونة، حيث بلغت متانة الشد قيمتها الأعظمية (108.8 MPa) عند نسبة إضافة (5% SAS , 5% Talc) وبلغ معامل المرونة قيمته الأعظمية (6367.9 MPa) عند هذه النسبة أيضاً.

4- أيضاً بينت الاختبارات ازدياد قيمة متانة الانحناء عند إضافة سيليكات الألمنيوم الصوديوم إلى البولي استر غير المشبع فقط، حيث بلغت قيمتها الأعظمية (0.065 GPa) عند نسبة إضافة (SAS) 10%، بينما تبين أنه عند

إضافة سيليكات الألمنيوم الصوديوم إلى البولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية بنسبة (20%)، انخفاض في متانة الانحناء مع كل زيادة في نسبة مادة (SAS).

5- أظهرت النتائج ازدياد قيمة متانة الانحناء عند إضافة التالك إلى البولي استر غير المشبع فقط، وبلغت قيمتها الأعظمية GPa (0.0662) عند نسبة تقوية Talc(10%)، كما أدى إضافة التالك إلى البولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية بنسبة 20% إلى ازدياد قيمة متانة الانحناء أيضاً، حيث بلغت متانة الشد قيمتها الأعظمية GPa (0.1427) عند نسبة إضافة Talc(5%).

6- تشكل مادة سيليكات الألمنيوم الصوديوم (SAS) والتالك مزيج جيدا مع مادة البولي استر غير المشبع من ناحية الخواص الانحنائية، حيث بلغت متانة الانحناء عند النسبة (5% Talc , 10% SAS) قيمتها العظمى Gpa (0.0729)، وأن هذه القيمة أعلى من القيم التي حصلنا عليها البولي استر غير المشبع المضاف له مادة (SAS) بنسبة (10%) أو البوليستر المضاف له مادة (Talc) بنسبة (10%)، كما أدى إضافة مزيج (SAS) والتالك إلى البولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية بنسبة 20% إلى زيادة متانة الانحناء، حيث بلغت قيمتها الأعظمية GPa (0.1597) عند نسبة إضافة (5% Talc , 5% SAS) كما أن هذه الزيادة أعلى من الزيادة التي حصلنا عليها البولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية بنسبة 20% ألياف زجاجية والمضاف له مادة (Talc) بنسبة Talc(5%).

من خلال ما توصلنا إليه من نتائج نوصي بصناعة شفرات العنفات الريحية الكبيرة من البولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية بنسبة(20%)، وبمزيج من المواد المالئة سيليكات الألمنيوم الصوديوم والتالك (5% Talc , 10% SAS)، كما نوصي بتوسيع الدراسة لتأخذ بعين الاعتبار تقوية شفرات العنفات الريحية بمادة أوكسيد الزنك.

المراجع:

المراجع العربية:

1-الموسوي، علي ابراهيم.(2009). دراسة بعض الخواص الميكانيكية لمادة مركبة بوليميرية مقواة بالألياف. المعهد التقاني- بابل. مجلة القادسية للعلوم الهندسية. المجلد 2، العدد 1، ص: 14-25.

2-صالح. سهامة عيسى، شبيب. كاظم مطر وحمد. قحطان عدنان.(2009). دراسة الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة ذات أساس بوليميري مقواة بالألياف والدقائق. الجامعة التكنولوجية، بغداد. مجلة الهندسة التكنولوجية، المجلد 28، العدد 4، ص: 81-94.

3-وطن، أنعام وادي. (2009).دراسة بعض الخواص الميكانيكية والحرارية للبولي استر غير المشبع والمدعم بدقائق سيراميكية. مجلة ديالى، المجلد 37، ص: 227-244.

4-سميج، هناء عرير.(2011). تأثير التقوية بمسحوق أوكسيد الزنك على الخواص الميكانيكية لمادة متراكبة ذات أساس من البوليستر غير المشبع. الجامعة التكنولوجية-بغداد، مجلة الهندسة التكنولوجية، المجلد 29، العدد 10، ص: 474-484.

المراجع الأجنبية:

1. Malhotra، P.(2010). Advanced Blade Testing Methods For Wind Turbines. A Thesis Submitted to the Graduate School of the University of Massachusetts Amherst in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in mechanical engineering.

2. Hau، E.C. Wind Turbines Fundamentals،Technologies، Application،Economics. 2nd edition، Horst Von Renouard، United Kingdom، 2006.

3. Griffin، D.A. Blade System Design Studies Volume II: Preliminary Blade Designs and Recommended Test Matrixes. Kirkland، Washington، June 2004.

4. Bent، F.S and P.D. Christian. Improved design of large wind turbine blade of fibre composites based on studies of scale effects. 3nd edition، Lyngby، Denmark، September 2004.

5. Derek، A.E. Design of 9-Meter Carbon-Fiberglass Prototype Blades: CX-100 and TX-100. 5nd edition، Warren، California،2007.

6. Raju، B.K.S.(2011). Design Optimization of a Wind Turbine Blade. A Thesis Submitted to the Faculty of the Graduate School of The University of Texas at Arlington in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of master of science in aerospace engineering.