

تغيير مقدار الانحناء في مركبات البولي إستر غير المشبع المسلحة بألياف زجاجية باستخدام نسب مختلفة لمحفز ومسرّع التفاعل

الدكتور محمد نهاد علي كردية*
الدكتور حاتم محمودي**

تاريخ الإيداع 15 / 6 / 2010. قُبِلَ للنشر في 21 / 9 / 2010

□ ملخص □

يدرس البحث تغيير قيمة الانحناء ومقاومة مادة البولي إستر الحر بتسليحه بألياف زجاجية من نوعين مختلفين (ألياف مفتولة وحصيرة). أظهرت النتائج أن استخدام محفز للتفاعل (2%) ومسرّع للتفاعل بنفس النسبة يؤثر على قيمة معامل الانحناء أو قيمة التذلي مهما كانت نسبة مادة التدعيم في البولي إستر، كما أن تغيير نسبة كل من المحفز أو المنشط حتى 1.5% يغير أيضا قيمة التذلي. لوحظ من العمل أن نتائج تجريب البولي إستر المسلح بالألياف الزجاجية المجدولة يحتاج لقوة أكبر من أجل نفس قيم الانحناء في البولي إستر النقي أو المسلح بألياف زجاجية بشكل حصيرة، بينما البولي إستر النقي يحتاج لقوة أقل عما هو في حال تسليحه للوصول إلى قيمة انحناء أكبر أي مقاومة انحناء. وكذلك بالنسبة لمقاومة الشد فإنها تتحسن باستخدام الألياف الزجاجية المجدولة أكثر من غيرها نتيجة الترابط الكبير الذي تؤمنه مادة البولي إستر.

الكلمات المفتاحية: البوليستر، المواد المتصلبة حرارياً، مواد التسليح، ألياف الزجاج، اتجاه التسليح، نوع وشكل (ألياف التدعيم) الألياف الزجاجية، نسبة مادة التسليح، نسبة محفز التفاعل، التشوه والانحناء.

* أستاذ مساعد - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** مدرس - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Changing the Magnitude of Deflection of Reinforced Unsaturated Poly Ester by Glass Fiber with Different Ratios of Accelerator and Catalyst

Dr. Mohammad Nihad Ali Ghassan Kurdieh *
Dr. Hatem Mahmoudé **

(Received 15 / 6 / 2010. Accepted 21 / 9 / 2010)

□ ABSTRACT □

This experimental investigation was carried out to study the variation of magnitude of deflection and tensile strength of reinforced unsaturated polyester by glass fiber (woven and MAT). The obtained results showed that using of 2% ratio of accelerator and catalyst in this material influence of that magnitude, in addition to the variation of accelerator ratio up to 1.5% changes the magnitude of accelerator.

It had been observed that the reinforced unsaturated polyester resin with woven glass fiber need large magnitude of force for the same amount of deflection in the other materials, and pure polyester needs very high amount of force more than that in the other materials. The change of tensile strength according to deflection improves by using the woven fiber due to the high relation that come from the unsaturated polyester.

Key words: Thermosetting Materials, Reinforced Materials, Glass Fiber, Reinforced Orientation, Type of Reinforced Material (G-F), Volume Fraction of (G-F), Volume Fraction of Accelerator, Deflection and Bending.

* Associate Professor, Department of Production & Design Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Assistant Professor, Department of Production & Design Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

غالباً ما تتعرض القضبان والمنشآت لتأثير الأحمال العرضية أو القوى المزوجة الخارجية، التي يمر مستوى تأثيرها بمحور القضيب أو المنشأة. وهنا تظهر في المقاطع العرضية للمنشأة عزوم انحناء، أي العزوم الداخلية التي يكون مستوى تأثيرها عمودياً على مستوى المقطع العرضي للمنشأة. لذا ظهرت الحاجة العملية لمعرفة مدى مقاومة المواد للانحناء نتيجة تأثير القوى الخارجية المطبقة عليها بأحمال تزيد عن الحد المسموح به [1]، إضافة لظهور معامل التآكل مترافقاً مع انتشار الآلات الحديثة في الصناعة والتي تعاني أجزاءها المتحركة من هذه المشكلة المسببة لانتهيار بعض أجزائها إضافة للانحناء الناتج عن التحميل والتحميل المتكرر، يتم تصميم هذه الأجزاء بحيث تكون مقاومة التآكل أعظمية ومقاومة الانحناء أعلى ما يمكن ليكون عمر الجزء العامل من الآلة كبيراً. وحلت المواد البلاستيكية محل العديد من المعادن في أجزاء الآلات ولاسيما التي تكون على تماس مباشر مع الأجزاء الدوارة والتي تتحمل إجهادات كبيرة. واستخدمت مركبات المواد البوليميرية لتحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية للأجزاء المصنعة منها، فاستخدم العديد من هذه المواد ولاسيما المتصلبة حرارياً [2]. إن البولي إستر غير المسلح (UPR)، أو المسلح بألياف زجاجية أو بكرات من الزجاج: نسبة التآكل تزداد مع زيادة حجم الحبيبات الحاكة والقساوة الأعظمية للحبيبات الحاكة تعطي احتمالاً أكبر لحدوث تكسرات أكثر في عناصر الحبيبات الصلبة بوحدة الزمن، وهذا يقود إلى زيادة مقاومة نسبة التآكل. إن نسبة التآكل للمواد المتصلبة حرارياً تزداد عندما تكون على تحاك مباشر مع الأجسام القاسية جداً أي عندما يسلم البوليمير بكرات من الزجاج القاسية، إضافة لذلك تقاوم هذه المركبات الأحمال بشكل أكبر مما هي في الحالة الحرة وبالتالي تقاوم الانحناء [3]. تبلغ نسبة التآكل قيمة منخفضة عندما توجه ألياف القطن والكتان في البولي إستر غير المشبع بشكل ناظمي على سطح الانزلاق. تزداد قيمة معامل الاحتكاك في حالة التوجيه الناظمي للألياف ولكنه لا يتأثر في حالة التوجيه الطولي فوق القيمة الحدية للعامل (P.V). الألياف الطويلة تنقص من نسبة التآكل لأنها تنغمر في المادة الأساس وبالتالي تزداد مقاومة الشد ويقل الانحناء [4]. عند دراسة التآكل على جهاز (Pin-on-Flat) وجد أن تتناقص نسبة التآكل للبولي إستر المسلح بألياف زجاجية عادة بزيادة سرعة الانزلاق تحت تأثير أحمال منخفضة وتميل لتثبت تحت الأحمال العالية بزيادة سرعة الانزلاق [5].

بدراسة التآكل على جهاز (Pin-on-Disc) تبين أن نسبة التآكل تتناقص مع زيادة نسبة مادة التسلح لغاية 12.5% ثم تصبح ثابتة عند سرعة منخفضة (قيمة عالية للحد P.V) ولكن عند سرعة عالية (قيمة منخفضة للعامل P.V) تتناقص نسبة التآكل أكثر مما هو عليه في المرحلة الأولى من المنحني من أجل ألياف الزجاج القصيرة وألياف الكربون المسلح بها البولي إستر إيثر إيثون (PEEK). فزيادة الألياف الزجاجية القصيرة لهذه المادة يحسن من خواص التآكل بشكل بسيط، بينما ألياف الكربون تحسن من مقاومة تآكل الانزلاق، وبالتالي مقاومة الشد ومعامل الانحناء تحت تأثير العامل P.V العالي والمنخفض القيمة [6].

تسلح البولي إستر بألياف قطنية باتجاهات مختلفة تقلل من نسبة التآكل عند زيادة نسبة مادة التسلح وذلك عند التحميل بأحمال منخفضة وهذا يزيد من المقاومة ويقل الانحناء، ولكن النقصان الأكبر بنسبة التآكل يكون عند التسلح باتجاه عمودي على سطح الانزلاق، والنقصان الأقل يكون عند التسلح بالاتجاه الطولي. القيم الأفضل لنسبة التدهيم لتعطي نسبة تآكل أقل هي 15% [7]. في مركبات البولي إستر المدعم بألياف الزجاج تتناقص نسبة التآكل بزيادة سرعة الانزلاق عند الأحمال المنخفضة، بينما تميل نسبة التآكل لتبقى ثابتة عند الأحمال العالية عند ازدياد سرعة الانزلاق للتآكل الحاد [8]. من أجل مادة البولي إستر المسلح بألياف زجاجية قصيرة بنسبة (30%) أو ألياف الكربون

والبولي إستر المسلح بنسبة (45%) من الألياف الزجاجية نسبة التآكل لا تزداد في منطقة سرعة الانزلاق العالية لمادة البولي إستر المسلح بالكربون، بعكس البولي إستر المسلح بألياف الزجاج. ريش التآكل الناتج عن مركبات البولي إستر تحت تأثير سرعة الانزلاق المنخفضة كان بشكل مدور لكن تحت تأثير سرعة الانزلاق العالية أخذ الريش شكلاً اسطوانياً طويلاً [9].

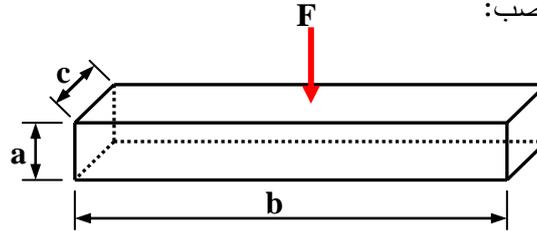
أهمية البحث وأهدافه:

دراسة بعض قيم الانحناء والتشوه الناتج عن التحميل للحكم على مقاومة الشد لمادة البولي إستر المدعمة بألياف زجاجية مجدولة وحصيرة، وكذلك تحسين خواص هذه المواد لاستخدامها من المجال الصناعي ولا سيما في البناء وبناء المراكب وأجنحة الطائرات وغيرها من المنتجات الصناعية.

طرائق البحث ومواده:

1 تحضير العينات:

تم تصميم وتنفيذ قالب خاص لصب العينات التي تستخدم للتآكل وهي عبارة عن ألواح صغيرة بشكل متوازي المستطيلات أبعادها مبينة في الشكل (1)، لدراسة تأثير القوة الخارجية عليها وبيان مقدار التشوه والانحناء فيها، ولضمان عدم التصاق المادة البوليميرية المستخدمة - وهي البولي إستر غير المشبع النقي مع مسرّع للتفاعل Peroxide 90 ومحفز من النوع Butanox-50 بنسب مختلفة (1.5,2%) - بالقالب تم دهن القالب بالشمع، وتم إتباع الخطوات التالية في عملية الصب:



الأبعاد بالمليمتر: $b = 150$ [mm] ، $c = 20$ [mm] ، $a = 20$ [mm]

شكل (1): عينة الاختبار

1) نأخذ 100 [cm³] من البولي إستر غير المشبع بشكل resin في وعاء بلاستيكي. 2) نضيف حوالي 0.5% إلى 2.5% من المسرّع إلى المادة الأساسية ومزجها جيداً. 3) نضيف حوالي 0.5% إلى 2.5% من المحفز ونمزجها معاً حتى نصل لتمام التجانس. 4) نضع أليافاً زجاجية مجدولة (16×10 cm²) بشكل 6 طبقات فوق المزيج. 5) نستخدم صفيحة من الزجاج أو النحاس حجمها (18×13 cm²) وندهنها بطبقة من الشمع. 6) نضيف طبقة من الألياف الزجاجية المجدولة أو الحصيرة ثم طبقة من البولي إستر غير المشبع، ثم صفيحة من الزجاج على الألياف (أي نكرر العملية). 7) نضع وزناً قيمته 40 [N] فوق الطبقة العلوية من القالب ونترك المزيج بالقالب تحت هذا الضغط لمدة 30 [min] وتحت درجة حرارة المخبر (32° C). 8) ننزع الوزن والطبقة الزجاجية العلوية، ثم نستخرج العينة من القالب.

تم تجهيز العينات بتغيير نسبة التسليح بالبوليستر (1.5, 2, and 2.5%) والمزيج لمركبات البولبيستر/المسلح بألياف الزجاج، وتركت هذه العينات (12 عينة) لمدة 7 أيام قبل تشغيلها واختبارها. الاختبار تم بتطبيق الأوزان من [N] 10 إلى [N] 250 على العينة.

2 الخواص الميكانيكية للعينة المختبرة:

- الخواص العامة للمادة المختبرة البولي إستر من شركة Ciba- Gyge هي:

• مقاومة الشد: $5.8 \text{ [kgf/ mm}^2\text{]}$.

• الكثافة: $1.25 \text{ [g/ cm}^3\text{]}$.

• درجة الحرارة التي يتم بدء صهر المادة: 170°C وتحافظ على خواصها لغاية 110°C .

• تعتبر العينة من المواد القاسية، ولها سطح مقاوم للتآكل الحاك نسبياً، ولها خواص انزلاق جيدة، وتتميز بثباتية حرارية عند الدرجة 120°C ، كما أن لها مقاومة كيميائية ممتازة.

3 مادة التدعيم (التسليح):

هي عبارة عن ألياف زجاجية (ألياف مجدولة Woven وحصيرة من الألياف Mat) اختيرت لتحسين الخواص الفيزيائية للبولي إستر، حيث لها موصلية حرارية ومقاومة احتكاك ممتازة. ونتيجة لتمتعها بمواصفات متانة وقساوة عالية وخواص حرارية ممتازة جعلت منها مادة أساسية للاستخدام في الجوائز التي تتعرض لقوى مركزة. وتم أخذ نموذجين من الألياف ذات أقطار مختلفة ($5 - 10 \text{ [mm]}$)، وينسب متعددة لكل نوع (1.5, 2, 2.5%).

4 اختبار الانحناء ومقاومة الشد:

تم استخدام آلة الشد (الضغط) العامة لإجراء هذه الاختبارات ضمن الشروط الموافقة لتشغيل هذه الجوائز. آلة الاختبار المستخدمة تزود بعدة قيم للحمل عن طريق خلية حمل لغاية 500 [kN] ، وبترددات مختلفة. يتم التحميل المختلف وحساب معامل الانحناء في كل مرة من مرات التحميل عن طريق تطبيق الحمل بشكل (3 Point- Bending) ثم انحراف التحميل وقياس معامل الانحناء واختلافه باختلاف الحمل المطبق. يتم السماح للعينة بالعمل عند ظروف جافة ويتم خلالها قياس معامل الانحناء تحت تأثير أحمال، وسرعة تحميل ثابتة وزمن تحميل ثابت. تؤخذ العينة من القالب بعد الصقل والتنظيف وتوزن وتصور قبل الاختبار ثم يعاد فحصها بعد الاختبار بالمجهر لبيان مدى الانحناء ثم يحسب الفرق بين وضع العينة وهي بدون تحميل ووضعها بعد التحميل.

5 البارامترات الأساسية:

الحمل المطبق: من 10 [N] إلى 250 [N] .

نوع مادة التدعيم: حصيرة وشبكة مجدولة من الألياف الزجاجية.

نسبة مادة التدعيم لكلا النوعين من الألياف: 1.5, 2, 2.5%

زمن التحميل: ثابت لكل مرة تحميل.

يتم حساب معامل الانحناء من العلاقة:

$$E = \frac{L^3}{4bh^3} \times \frac{F}{Y}$$

حيث:

E - معامل الانحناء. L - المسافة بين نقطتي تطبيق الحمل (مم). b - العرض (مم).

h - الارتفاع (مم). F - الحمل المطبق (نيوتن). y - التشوه (مم).

ملاحظة: أجريت الاختبارات في مخابر كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين على آلة الشد العامة Universal وفي مخابر كلية الهندسة بجامعة الملك خالد بالسعودية على آلة الشد العمومية (شد - ضغط). بالاستعانة بالمجهر وأجهزة قياس مسافة التخلي.

النتائج والمناقشة:

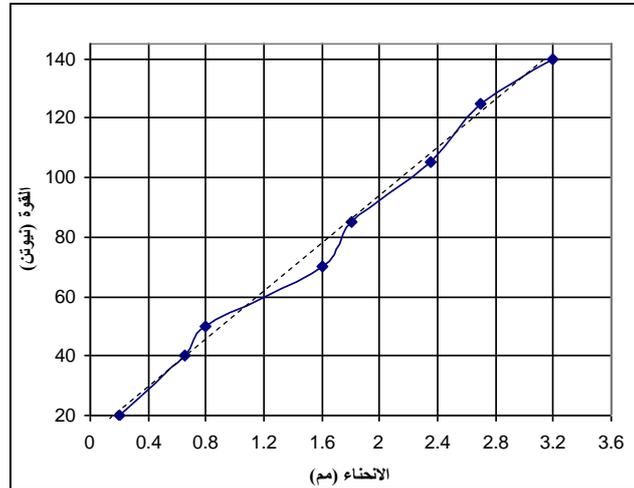
أظهرت الاختبارات والتجارب النتائج التالية:

1. قيمة الانحناء ومعامل الانحناء لمركبات البولي إستر المسلح بنوعين من الألياف الزجاجية (2% محفز ومسرع تفاعل):

أظهرت النتائج أن قساوة المادة المركبة المدروسة تزداد بزيادة نسبة مادة التدعيم في البولي إستر أي كلما زادت نسبة الألياف الزجاجية من كلا النوعين تحسنت قساوة المادة، إضافة لهذا ازدادت القساوة بزيادة طول الألياف الزجاجية كمادة تدعيم.

يبين الشكل (2) تغيير قيمة التخلي لمادة البولي إستر المدعم بحصير من الألياف الزجاجية مع تغيير الحمل المطبق على العينة بإضافة 2% من مسرع التفاعل الذي يزيد القساوة ومن محفز التفاعل الذي يسرع عملية التصلب. نلاحظ من الشكل أنه:

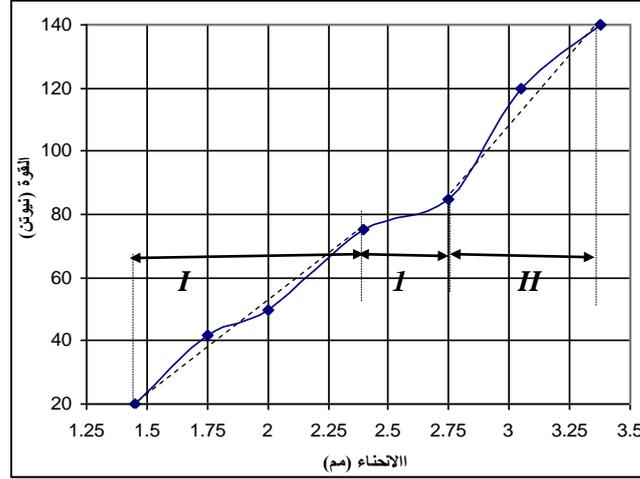
بازدياد الحمل المطبق يزداد مقدار التخلي وكأن العلاقة بينهما علاقة خطية ولكن تختلف الزيادة عند الحمل من [40-55N] ومن [60-80N] وتكون الزيادة بشكل كبير عند الحمل من [80-110N] ثم تقل شدة الزيادة لتعود وتزداد بنفس الميل حتى تطبيق الحمل العالي [10].



شكل (2): تغيير التخلي مع الحمل المطبق للبولي إستر المدعم بألياف بشكل حصيرة (MAT) مع 2% مسرع ومحفز.

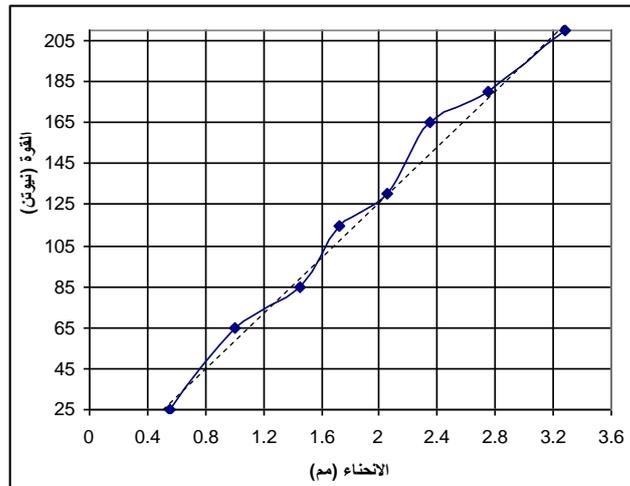
يبين الشكل (3) تغيير قيمة التخلي لمادة البولي إستر النقي بدون تسليح مع تغيير الحمل المطبق على العينة بإضافة 2% من مسرع التفاعل الذي يزيد القساوة ومن محفز التفاعل الذي يسرع عملية التصلب. نلاحظ من الشكل أن:

بازدياد الحمل المطبق يزداد مقدار التدلي بشكل كبير وكأنه يمر بمرحلتين يتخللهما مرحلة ثبات تقريبا بزيادة التدلي مع زيادة الحمل المطبق، ففي المرحلة الأولى (I) عند الحمل حتى $75[N]$ كان التدلي $0.97[mm]$ ثم تليها مرحلة شبه ثبات عند $10[N]$ فقط والتدلي عندها فقط $0.34[mm]$ ، ثم يعود المنحني للازدياد (II) حتى الحمل $140[N]$ ليزداد التدلي بمقدار $0.625[mm]$ عند الأحمال الكبيرة. أي أن التدلي خلال هذا الحمل $120[kN]$ ازداد بمقدار $1.94[mm]$ بالنسبة لهذا النوع من الألياف الزجاجية.



شكل (3): تغير التدلي مع الحمل المطبق للبولي إستر النقي غير المدعم.

يبين الشكل (4) تغير قيمة التدلي لمادة البولي إستر المدعم بالألياف الزجاجية المجدولة مع تغير الحمل المطبق على العينة بإضافة 2% من مسرع التفاعل. نلاحظ من الشكل أنه: بازدياد الحمل المطبق يزداد مقدار التدلي وكأن العلاقة بينها علاقة خطية وتكون الزيادة كبيرة في المرحلة الأولى (بداية المنحني) ثم تستمر الزيادة ولكن بميل أقل من المرحلة الأولى، لكن التدلي بالنسبة لهذه المادة المركبة عند القيمة العليا أقل مما هو في البولي إستر غير المشبع النقي بشكل بسيط وحتى عند القيم المتساوية من الحمل. والمنحني يمر بمرحلة شبه ثبات بالتدلي مع زيادة الحمل المطبق عند الحمل من $52-68[N]$.

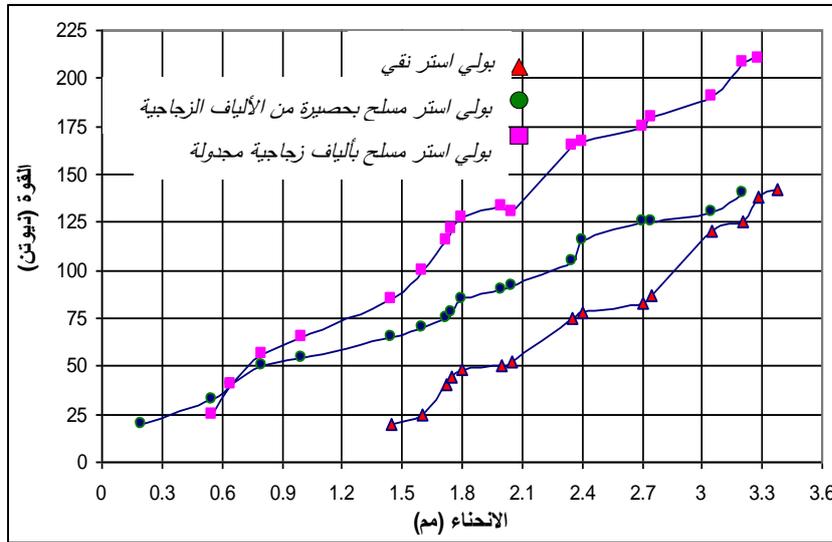


شكل (4): تغير التدلي مع الحمل المطبق للبولي إستر المدعم بألياف مجدولة.

نتيجة:

نلاحظ من المنحنيات الثلاثة كما في الشكل (5) أن البولي إستر المدعم بحصيرة من الألياف الزجاجية أقل تدلياً (أعلى مقاومة انحناء) من النوعين الآخرين لأن هذا النوع من الألياف يعطي قساوة للمادة وترابطاً كبيراً بين جزيئاتها حتى عند الأحمال العالية. بينما النوع الآخر من البولي إستر النقي غير المسلح يكون التدلي أكبر حتى قيم صغيرة من التحميل ويكون التدلي كبيراً وأكبر من النوعين حتى عند هذه القيم من الأحمال في النوعين، أما النوع الثالث المدعم بألياف مجدولة فيكون التدلي كبيراً ولكن تحت أحمال صغيرة وبشكل مساير للبولي إستر النقي غير المسلح.

فالبولي إستر المسلح بحصيرة من الألياف الزجاجية أفضل من النوعين الآخرين عند النسبة 2% من مسرّع ومحضر التفاعل للبولي إستر بالنسبة للانحناء حيث يعطي أقل قيم للتدلي تحت تأثير الحمل العالي [11].



شكل (5): تغيير التدلي مع الحمل المطبق للبولي إستر مع 2% مسرّع ومحضر للتفاعل.

2. قيمة الانحناء ومعامل الانحناء لمركبات البولي إستر المسلح بنوعين من الألياف الزجاجية (1.5% محضر و 2% منشط تفاعل):

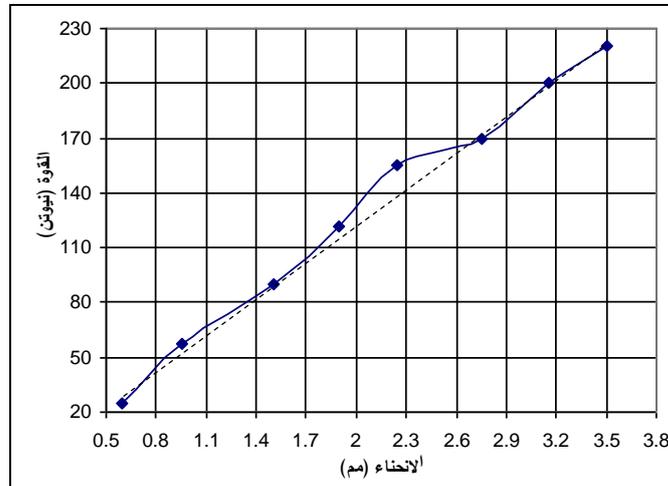
محضر و 2% منشط تفاعل):

* الظواهر العامة:

بعد اختبار عينات البولي إستر النقي غير المسلح والمسلح بالنوعين من الألياف الزجاجية (الحصيرة والمجدولة) وينسب مختلفة منها، تم الفحص المجهرى لسطحي العينة: فوجد بأن السطح غير المحمل والسطح تحت تأثير الأحمال ولا سيما العالية (السطح السفلي) تظهر عليهما منطقة بيضاء بشكل خطوط على المساحة العرضية لمنطقة التحميل وهذا دليل ظهور المنطقة المتلدنة التي تعتبر كمنطقة دليل لزيادة الحمل، كما تشير هذه المنطقة المتلدنة لحصول التدلي نتيجة انحناء العينة تحت تطبيق الحمل عليها.

يبين الشكل (6) تغيير قيمة التدلي لمادة البولي إستر المدعم بحصيرة من الألياف الزجاجية مع تغيير تطبيق الحمل على العينة بإضافة 1.5% من مسرّع التفاعل الذي يزيد القساوة أكثر و 2% من محضر التفاعل الذي يسرع عملية التصلب. فنلاحظ من الشكل أنه:

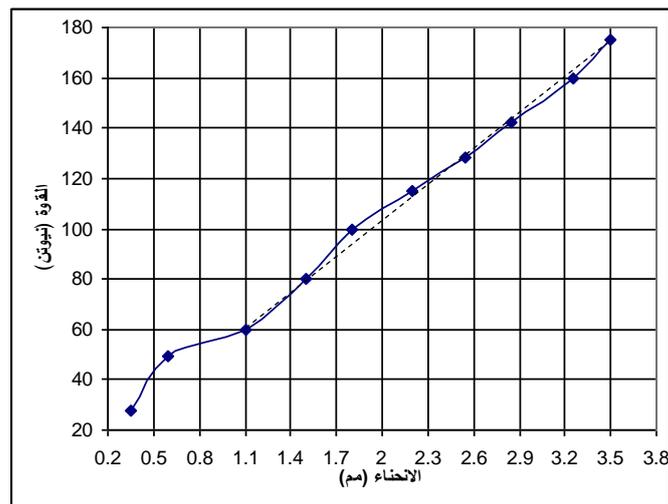
بازدياد الحمل المطبق يزداد مقدار التدلي وكأن العلاقة بينها علاقة خطية تماما وتكون الزيادة بشكل كبير من الأحمال الصغيرة وعند الأحمال الكبيرة جدا $[140\text{ N}]$ ، ولكن الزيادة بالتدلي خلال هذه الأحمال قليلة وقيمتها تقريبا 2 mm لكل الأحمال، ويكون ميل المنحني واحداً خلال عملية التحميل .



شكل (6): تغير التدلي مع الحمل المطبق للبولي إستر المدعم بألياف زجاجية بشكل حصرية.

أما الشكل (7) فيبين تغير قيمة التدلي لمادة البولوي إستر الحر غير المدعم مع تطبيق الحمل المطبق على العينة بإضافة 1.5% من مسرع التفاعل الذي يزيد القساوة أكثر ومن 2% منشط التفاعل الذي يسرع عملية التصلب. نلاحظ من الشكل أنه:

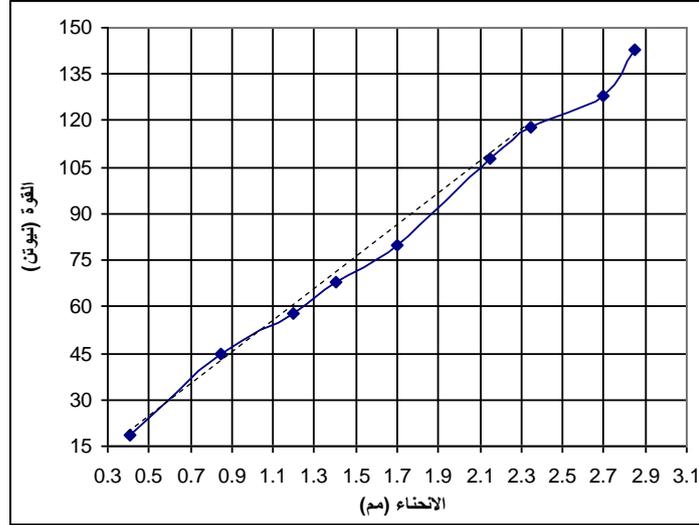
بازدياد الحمل المطبق يزداد مقدار التدلي وكأن العلاقة بينها علاقة خطية ماعدا المنطقة عند الأحمال الصغيرة جدا، وتكون الزيادة بشكل كبير ولكن قيمة التدلي كانت كبيرة وتساوي تقريبا 0.75 mm خلال حمل مقداره $[25\text{ N}]$ ، نتيجة قلة قساوة هذه المادة وبالتالي مقاومتها للشد.



شكل (7): تغير التدلي مع الحمل المطبق للبولي إستر النقي غير المدعم.

يبين الشكل (8) تغير قيمة التدلي لمادة البولوي إستر المدعم بألياف زجاجية مجدولة مع تطبيق الحمل على العينة بإضافة 1.5% من مسرع التفاعل الذي يزيد القساوة ومن 2% منشط التفاعل الذي يسرع عملية التصلب. فنلاحظ من الشكل أنه:

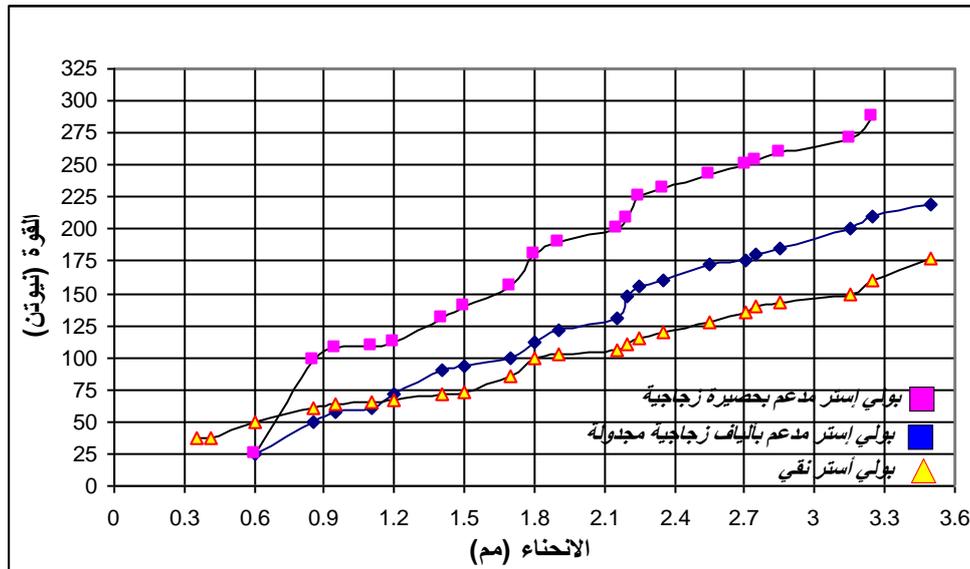
بازدياد الحمل المطبق يزداد مقدار التدلي وتكون العلاقة بينها علاقة خطية تماما ماعدا عند الأحمال العالية جدا بين $120-140[N]$ حيث كان التدلي حوالي $0.5[mm]$ ، وتكون العلاقة بينهما متذبذبة، وتكون الزيادة متسايرة تماما لما هو في النوعين الأول والثاني.



شكل (8): تغيير التدلي مع الحمل المطبق للبولي إستر المدعم بألياف مفتولة.

نتيجة:

نلاحظ من المنحنيات الثلاثة كما في الشكل (9): بأن البولي إستر بأنواعه الثلاثة (النقي بدون تدعيم، المدعم بألياف زجاجية بشكل حصيرة، المدعم بالألياف الزجاجية المجدولة) يملك نفس قيمة التدلي مهما كانت نسبة مادة التدعيم والمنحنيات الثلاثة تكون متسايرة، أي أن نسبة المحفر والمسرّع أعطت اختلافا قليلا جدا مهما كان نوع التدعيم للبولي إستر.

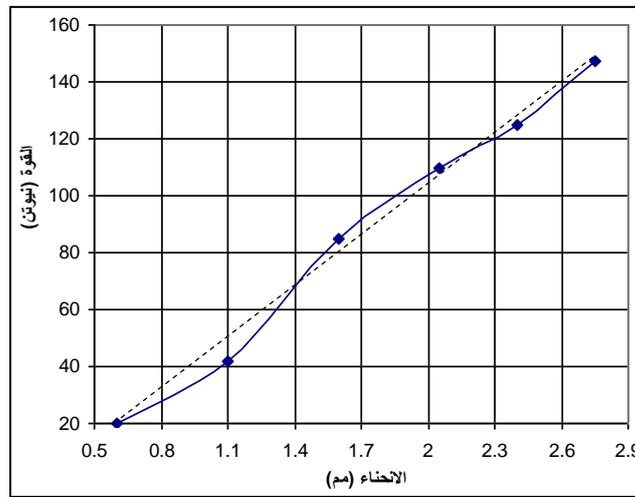


شكل (9): تغيير التدلي مع الحمل المطبق للبولي إستر مع 1.5% مسرّع و 2% محفر للتفاعل.

3. قيمة الانحناء ومعامل الانحناء لمركبات البولي إستر المسلح بنوعين من الألياف الزجاجية (1.5% مسرع و 2% محفز تفاعل):

يبين الشكل (10) تغير قيمة التدلي لمادة البولي إستر المدعم بحصير من الألياف الزجاجية مع تغير تطبيق الحمل المطبق على العينة بإضافة 1.5% من مسرع التفاعل الذي يزيد القساوة أكثر و 2% من محفز التفاعل الذي يسرع عملية التصلب. نلاحظ من الشكل أنه:

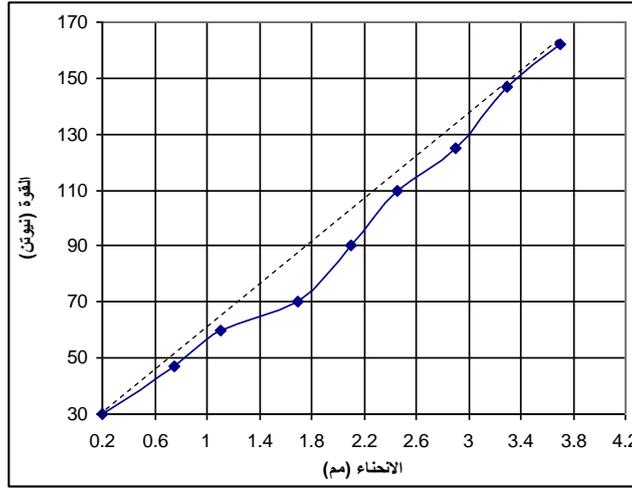
بازدياد الحمل المطبق يزداد مقدار التدلي والعلاقة بينها علاقة خطية من الأحمال الصغيرة حتى الكبيرة فعند الحمل من $20[N]$ حتى $150[N]$ تقريبا كان التدلي $2.25[mm]$ (2-2.75) أي الزيادة كانت تقريبا 2% فقط أي العينة التي تملك هذا التدعيم لها مقاومة للاستطالة وقساوة عالية لتحمل الأحمال المطبقة عليها مهما كانت كبيرة.



شكل (10): تغير التدلي مع الحمل المطبق للبولي إستر المدعم بألياف زجاجية بشكل حصيرة.

يبين الشكل (11) تغير قيمة التدلي لمادة البولي إستر الحر غير المدعم مع تطبيق الحمل المطبق على العينة بإضافة 1.5% من مسرع التفاعل الذي يزيد القساوة أكثر ومن 2% محفز التفاعل الذي يسرع عملية التصلب. نلاحظ من الشكل أنه:

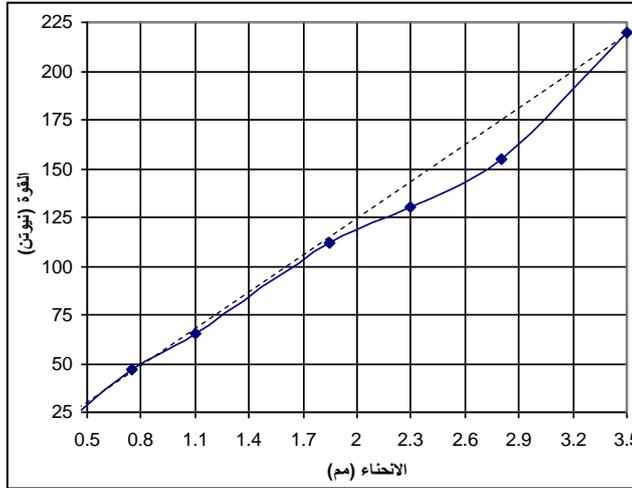
بازدياد الحمل المطبق يزداد مقدار التدلي وكأن العلاقة بينها علاقة خطية ماعدا المنطقة عند الأحمال الصغيرة بين $60-70[N]$ ، وقيمة التدلي $0.5[mm]$ وتكون الزيادة بشكل كبير عند الأحمال الكبيرة وقيمة التدلي كانت كبيرة خلال اختبار هذه العينات وتساوي تقريبا $3.5[mm]$ خلال فترة التحميل كلها.



شكل (11): تغيير التدلي مع الحمل المطبق للبولي إستر النقي غير المدعم.

يبين الشكل (12) تغيير قيمة التدلي لمادة البولي إستر المدعم بألياف مجدولة مع تطبيق الحمل المطبق على العينة بإضافة 1.5% من مسرع التفاعل الذي يزيد القساوة ومن 2% محفز التفاعل الذي يسرع عملية التصلب. نلاحظ من الشكل أنه:

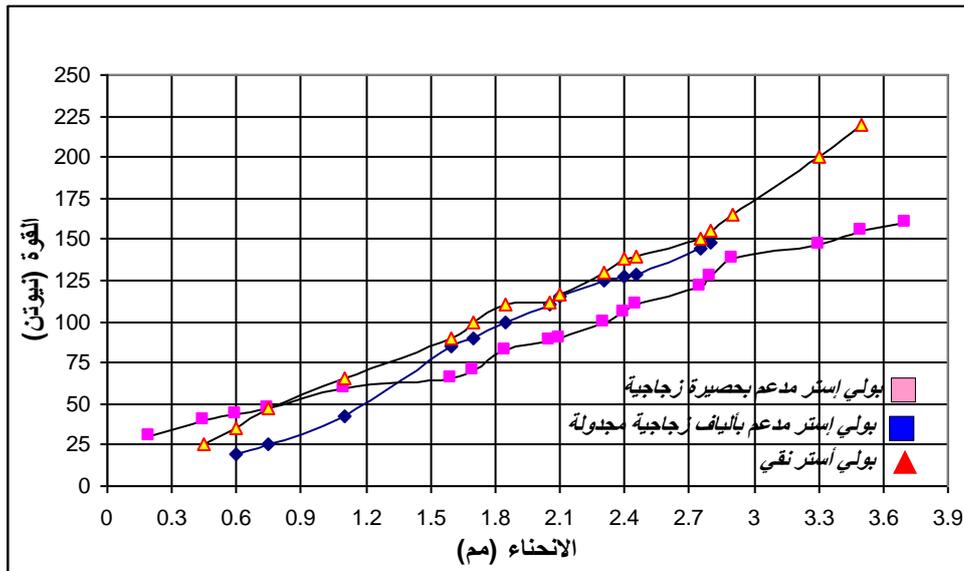
بازدياد الحمل المطبق يزداد مقدار التدلي وكأن العلاقة بينها علاقة خطية تماما حيث كان التدلي حوالي $3.1[mm]$ خلال الحمل $200[N]$.



شكل (12): تغيير التدلي مع الحمل المطبق للبولي إستر المدعم بألياف مجدولة.

نتيجة:

نلاحظ من المنحنيات الثلاثة كما في الشكل (13): بأن البولي إستر بأنواعه الثلاثة (الحر بدون تدعيم، المدعم بحصيرة من الألياف الزجاجية، المدعم بالألياف المجدولة) يملك نفس قيمة التدلي مهما كانت نسبة مادة التدعيم والمنحنيات الثلاثة تكون متساوية، أي أن نسبة المحفز والمسرّع أعطت اختلافا قليلا جدا مهما كان نوع التدعيم للبولي إستر.



شكل (13): تغير التدلي مع الحمل المطبق للبولي إستر مع 1.5% مسرع و 2% محفز للتفاعل.

الاستنتاجات والتوصيات:

- من خلال المعطيات والملاحظات التجريبية، حصلنا على النتائج التالية:
- (1) تتغير قيمة التدلي بتغيير قيمة الحمل المطبق باختلاف نسبة محفز التفاعل ومسرع عملية التصلب.
 - (2) بازدياد نسبة المحفز والمسرع مهما كانت نسبة التدعيم من الألياف الزجاجية حتى تكون النسبة لغاية 2% يزداد التدلي ولكن بقيم قليلة وتكون المنحنيات تميل بشكل متساير.
 - (3) التدعيم بألياف زجاجية بشكل حصيرة أفضل لمعامل الانحناء من الألياف المجدولة.

المراجع:

- 1- STEOBEN B., *Strength of Material*, Moscow, CCCP, Meier, 3rd Edition, (1978), 350-365.
- 2- KURDIEH, M. N. and DAYOB, M.S., *The Effect of Volume Fraction of Carbon Particle-Reinforced Epoxy Composites in Dry Sliding*, Tishreen Journal, Vol., No., (2008), 12-14.
- 3- FRIDRIECH K. and CYFFKA. M. *On The Wear of Reinforced Thermoplastics by Different Abrasive Paper*, Wear, 103 (1985) 333-344.
- 4- EL-SAYED, A.A. EL-SHERBINY, M.G. ABO-EZZ A.S. and AGGAG, G.A. *Friction and Wear Properties of Polymeric Materials for Bearing Applications*, Wear, 184 (1995) 45-53.
- 5- LHYMN, C. *Lubricated Wear of Fiber-Reinforced Polymer Composites*, Wear, 122 (1988) 13-31.
- 6- CVOSS, H. and FRIDRICK, K., *On The Wear Behaviour Short-Fiber Reinforced PEEK Composites*, Wear, 116 (1987) 1-18.
- 7- A.M. ELIECHI and G.M. AMIN, *The Effect of Unidirectional Cotton Fiber Reinforcement on The Friction and Wear Characteristics of Polyester*, Wear, 112 (1986) 67-78.
- 8- LHYMN, C. *Effect of Normal Load on The Specific Wear Rate of Fibrous Composites*, Wear, 120 (1987) 1-27.
- 9- LHYMN C. and LIGHT, R. *Effect of Sliding Velocity on Wear Rates of Fibrous Polymer Composites*, Wear, 116 (1987) 343-359.
- 10- E.BAKIS, C. and BANK, L.C. *Fiber-Reinforced Composites for Construction- State of The Art Review*, American Society of Civil Engineers, 150th Anniversary, (2002), 73-87.
- 11- TAMAS BARANY and TIBOR CZIGANY, *Essential Work of Fracture Concept in Polymers*, Periodica Polytechnica SER, Mech. Eng. Vol. 47, No. 2, (2003), 91-102.