

Study the Effect of Temperatures and Shear Stresses on Flow Behavior 50/50 Polylactic Acid-polystyrene (PLA/PS) Blend in the Molten State

Dr. Hassan Wassouf*
Dr. Fawaz Al-Dairi**
Hala Suleiman Al-Kateb***

(Received 12 / 7 / 2023. Accepted 14 / 12 / 2023)

□ ABSTRACT □

In this research, we have studied the rheological properties of samples of PLA / PS mixtures under the influence of high shear stress and different temperatures, where mixtures were prepared in proportions ranging from 10% to 100%. The mixtures (mixtures) were prepared in preparation for the tests in the viscometer Then study the viscous properties by determining the viscosity and viscous activation energy (E) at constant shear stress, constant shear rate and through Newton's index (n).

The real viscosity transformations were also studied in terms of the inverse of temperature to determine the activation energy at constant shear stresses and constant shear speed, as the activation energy is useful in determining the sensitivity of the polymer's viscosity to temperature change.

The elastic properties of the studied mixtures were also studied using Barus technology, and it was found that the rate of swelling increases with the increase in shear stress, and it was found that there is no significant effect on the swelling coefficient B.

Keywords: polylactic acid, polystyrene, rheology, shear stress, shear speed, viscosity.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Assistant Professor- Department of Chemistry - Faculty of Science - Tishreen University - Lattakia - Syria.

** Professor - Department of Chemistry - Faculty of Science - Damascus University - Damascus - Syria.

*** Postgraduate Student (Ph.D.), Department of Chemistry - Faculty of Science - Damascus University - Damascus - Syria. halaal-kateb@gmail.com

دراسة تأثير درجات الحرارة و إجهادات القص على سلوك جريان مزيج البولي لاكتيك أسيد - بولي ستايرين (PLA/PS) بنسبة 50/50 في الحالة المنصهرة

د. حسن وسوف*

د. فواز الديري**

هلا سليمان الكاتب***

(تاريخ الإيداع 2023 / 7 / 12. قُبِلَ للنشر في 2023 / 12 / 14)

□ ملخص □

لقد قمنا في هذا البحث بدراسة الخواص الريولوجية لعينات من مزائج البولي لاكتيك أسيد *PLA/PS* تحت تأثير إجهاد القص مرتفعة و درجات حرارة مختلفة حيث تم تحضير المزيج بنسبة 50/50 تم إعداد المزيج تمهيدا" للاختبارات في مقياس اللزوجة ذو الانبوب الشعري ثم دراسة الخصائص اللزجة من خلال تحديد اللزوجة وطاقة التنشيط اللزجة (E) عند إجهاد القص الثابت ومعدل القص الثابت وعبر مؤشر نيوتن (n). كما درست تحولات اللزوجة الحقيقية بدلالة مقلوب درجة الحرارة لتعيين طاقة التنشيط عند إجهادات قص ثابتة و سرعة قص ثابتة ، إذ تفيد طاقة التنشيط في تحديد مدى حساسية لزوجة البوليمير تجاه تغير درجة الحرارة . كذلك تمت دراسة الخواص المرنة للمزائج المدروسة باستخدام تقانة باروس (Barus) ، وتبين أنّ معدل الانتفاخ يزداد بارتفاع إجهاد القص كما تبين أنه ليس هناك تأثير ملحوظ في معامل الانتفاخ B

الكلمات المفتاحية: البولي لاكتك أسيد ، بولي ستايرين ، الريولوجيا ، إجهاد القص ، سرعة القص ، اللزوجة .

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* مدرس - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** أستاذ - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) - كلية العلوم - جامعة دمشق - دمشق - سورية. halaal-kateb@gmail.com

مقدمة:

تمثل البوليميرات الاصطناعية (Synthetic polymers) بشكل عام النواتج النهائية للعديد من المواد البتروكيميائية ، بينما تمثل البوليميرات الطبيعية (Natural polymers) جميع أنواع البوليميرت التي مصدرها جسم الانسان أو النبات أو الحيوان . ونادرا ما تكون البوليميرات النقية قابلة للاستخدام مباشرة دون أن تخضع لعدد من العمليات التكنولوجية التي تتضمن إضافة بعض الإضافات لجعلها تتمتع بالموصفات المناسبة للتطبيقات المرغوب بها ، و نحصل عندها على ما يسمى البلاستيك ، وتستخدم عبارة "المواد البلاستيكية " Plastics عموما لوصف طيف عريض من مجموعة من المواد التي يتم الحصول عليها كمنتج نهائي باستخدام البوليميرات (polymers) بعد اضافة بعض المضافات اللازمة لاستقرار التركيب و تلدنه و ثباته و تحقيقه للمواصفات المطلوبة للاستثمار [1].

تقدم لنا صناعة المواد البلاستيكية في الوقت الحاضر عددا كبيرا من المواد البوليميرية الاصطناعية ذات الخواص الجيدة فمنها ما تفوق في مقاومته الكيميائية مقاومة الذهب و البلاتين و منها ما يحتفظ بخواصه الميكانيكية أثناء تبريده الى درجات حرارة منخفضة جدا ، و منها ما تقترب قساوته من قساوة الألماس [2].

أهمية البحث وأهدافه:

- دراسة الخواص الريولوجية (PLA/PS) باستخدام مقياس اللزوجة ذي القالب الشعري.

طرائق البحث ومواده:

مزيج بوليميري (PLA/PS) ، بهدف تحويله بوساطة تقانة البثق إلى سلع متنوعة .

- 1- شروط العمل : تم تحضير المزيج بنسبة 50/50 ، حيث أجريت الدراسة عند درجات حرارة مختلفة تتراوح بين $160^{\circ}C - 220^{\circ}C$ ، وذلك تحت إجهادات قص مرتفعة
 - 2- التقانة المستخدمة في الدراسة :
- أجريت دراسة الخواص الريولوجية باستخدام مقياس اللزوجة ذي القالب الشعري المعدني (Deri, F, etal, 1989) و ذلك باستعمال أربعة قوالب مختلفة الأطوال وذات قطر ثابت (الجدول 2)

الجدول (1) أبعاد القوالب الشعرية المستعملة

القالب	1	2	3
L(mm)	15	25	35
D(mm)	1	1	1
L/R	15	25	35

كما أجريت دراسة الخواص المرنة (معامل باروس) باستخدام قالب $L/R = 15$

تصحيح المعطيات التجريبية :

1- هبوط الضغط نتيجة فقدان الطاقة الحركية :

في أثناء جريان المادة المنصهرة داخل القناة الشعرية تفقد جزءاً من طاقتها الحركية ، ما يسبب تسارعاً إضافياً للمادة تحت القص ، و يؤدي إلى انخفاض طفيف في الضغط وفق العلاقة الآتية

$$\Delta P_C = \Delta P_a - \frac{\rho V^2}{\alpha} \quad (1)$$

$$\Delta P_C = \Delta P_a - \frac{\rho \cdot Q^2}{\alpha \cdot \pi^2 R^4}$$

$$\alpha = \frac{(4n + 2)(5n + 3)}{3(3n + 1)}$$

علماً أنّ : P_C : الضغط المطبق الحقيقي

ρ : كثافة المادة

α : ثابت يتعلق بدليل الجريان

R : نصف قطر القناة الشعرية

P_a : الضغط المطبق الحقيقي

V : السرعة الوسطية

Q : غزارة التصريف

a : دليل الجريان

ومن المعطيات التجريبية وجدنا أن مقدار الفاقد في الضغط الذي قمنا بحسابه ضئيل بأقل من قيمة الضغط الكلي المطبق .

2- تصحيح باكلي (e) و إجهاد القص الحقيقي τ_c :

اثناء جريان المصهور في القالب الشعري ، يحدث تقارب كبير في الجزيئات و تراسها عند مدخل القالب ، وهذا ما يسبب هبوطاً في لضغط المطبق ولحساب الضياع الحاصل في الضغط المطبق ، ولحساب ذلك تم استخدام قوالب مختلفة الأطوال و ذات قطر واحد وفق الجدول (2) .

لتحديد معامل التصحيح (e) استخدمنا طريقة باكلي وذلك من الرسم البياني للضغط p_c بدلالة النسبة L/R عند قيم معينة لسرعة القص و ذلك عند درجات الحرارة المستخدمة في التجربة ، يحسب إجهاد القص الحقيقي τ_c وفق العلاقة التالية :

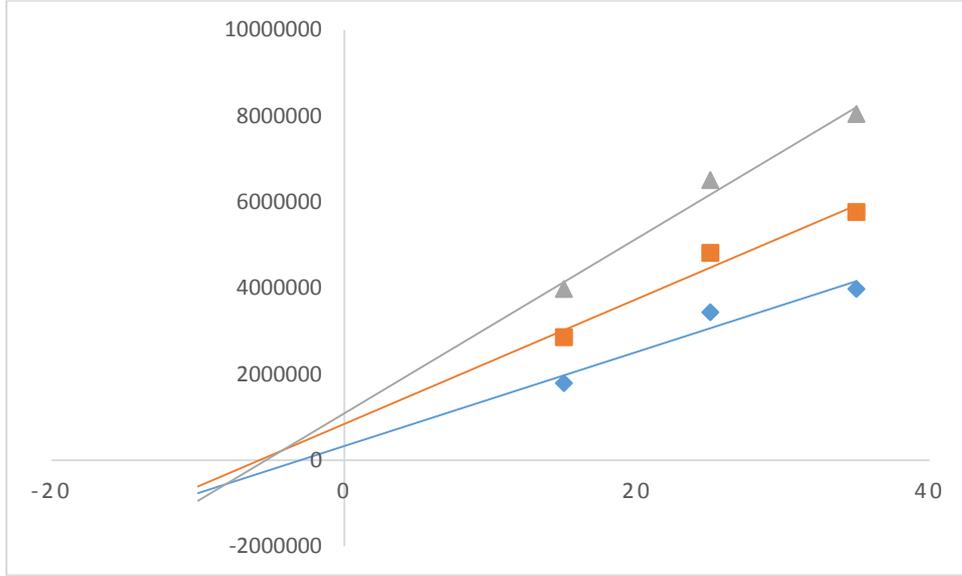
$$\tau_c = \frac{p_c}{2\left(\frac{L}{R} + e\right)} \quad (2)$$

حيث أنّ : τ_c : إجهاد القص الحقيقي (pa)

R : نصف قطر القالب الشعري (cm)

e : معامل تصحيح باكلي

p_c : الضغط الحقيقي داخل قناة القالب الشعري (pa) L : طول القناة الشعرية (cm)



الشكل (1) مستقيمات باغليه، تحولات p بدلالة L/R للمزيج PLA/PS

بنسبة 50/50 (▲)10، (■)15، (◆)20، $(\gamma_c (S^{-1}))$

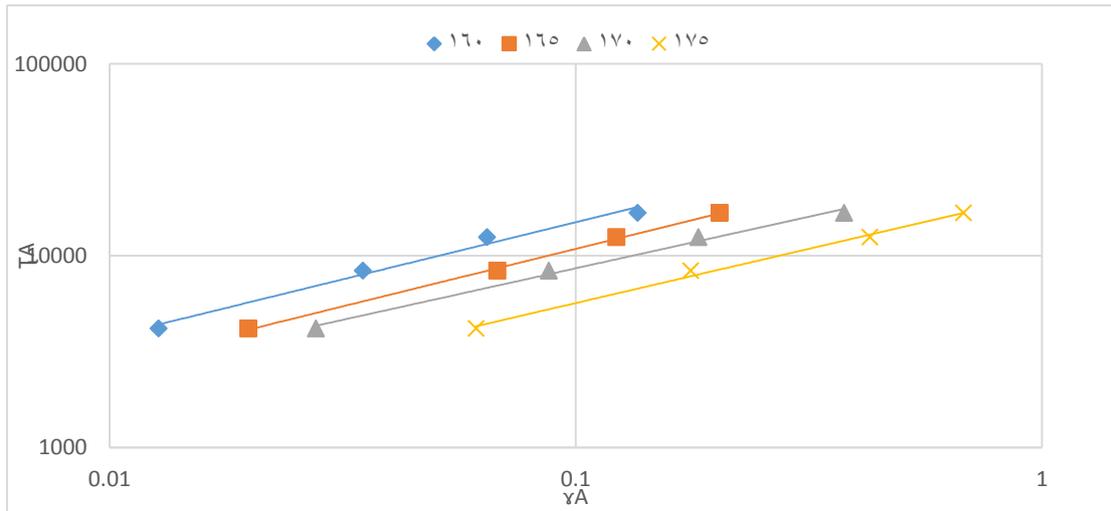
3- تصحيح رابينوفيش و سرعة القص الحقيقية γ_c

تم تعيين سرعة القص الحقيقية وفق العلاقة الآتية :

$$\gamma_c = \frac{(3n + 1)}{4n} \gamma_a$$

النتائج والمناقشة:

الرسم البياني للجريان : قمنا بتحضير المزيج المطلوب وتعيين كل من إجهاد القص الظاهري τ_a و سرعة القص الظاهرية γ_a ، ثم رسمنا الخطوط البيانية للجريان و التي تمثل تحولات τ_a بدلالة γ_a عند أربع درجات حرارة مختلفة ويمثل الشكل (2) منحنى الجريان للمزيج المدروس :



الشكل (2) تحولات τ_a بدلالة γ_a للمزيج PLA/PS بنسبة 50/50
 $T(^{\circ}C)$ (◆)160، (■)165، (▲)170، (×)175

يفيد هذا الرسم البياني في تحديد سلوك الجريان للمزيج المدروس ، وتحديد فيما إذا كان يتبع في هذه السلوكية لسلوك جريان سائل نيوتن أو السائل الشبيه بالبلاستيك أو السائل شديد التمدد ، و قد عيّن دليل الجريان n عند درجات حرارة

$$n = \frac{d(\log \tau_a)}{d(\log \gamma_a)} \quad \text{مختلفة وفق العلاقة الآتية :}$$

و يبيّن الجدول (2) قيم دليل الجريان n عند درجات الحرارة المدروسة :

الجدول (2) قيم دليل الجريان n لمزيج PLA/PS بنسبة 50/50 عند درجات الحرارة المدروسة

$t(c^0)$	170	180	190	200	210
n	0.85	0.91	0.95	0.79	1.02

تظهر قيمة دليل الجريان عند درجات حرارة مختلفة و عند إجهادات القص المطبقة أنها أقل من الواحد وهذا ما يعني أنها تنتمي إلى المواد الشبيهة بالبلاستيك .

1- دراسة الخواص للزجة للعينات المدروسة (Viscous Properties):

قمنا بدراسة الخواص للزجة للمزيج المدروس ضمن الشروط من خلال تعيين سرعة القص الظاهرية (γ_a) وإجهاد القص الظاهري (τ_a) والزوجية الظاهرية (η_a) للمزيج المدروس.

تعيين سرعة القص الظاهرية:

تعيين وفق العلاقة التالية:

$$\gamma_a = \frac{4.Q}{\pi.R^3}$$

حيث أن:

γ_a : سرعة القص الظاهرية (s^{-1}).

Q: غزارة التدفق الحجمية (g/s).

R: نصف قطر القالب الشعري المستخدم (cm).

تعيين إجهاد القص الظاهري

يعين وفق العلاقة التالية:

$$\tau_a = \frac{P.R}{2.L}$$

حيث أن:

τ_a : إجهاد القص الظاهري (Pa).

P: الضغط المطبق (Pa).

R: نصف قطر القالب الشعري المستخدم (cm).

L: طول القالب الشعري المستخدم (cm).

تعيين الضغط:

يعين وفق العلاقة التالية:

$$P = \frac{G.981}{\pi.R_d^2}$$

G: الحمولة المطبقة (gr) . R_d : نصف قطر البستون (cm).

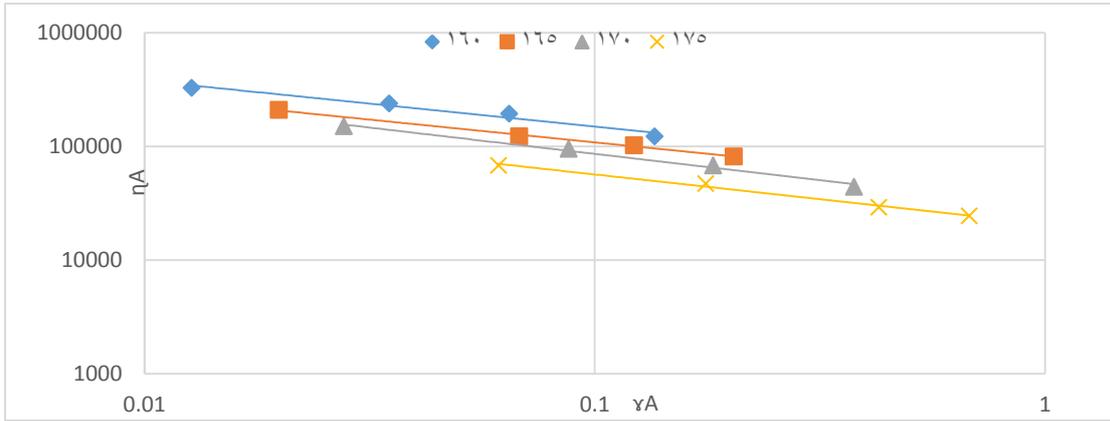
من خلال قيم كل من إجهاد القص الظاهري (τ_a) وسرعة القص الظاهرية (γ_a) يتم

تعيين اللزوجة الظاهرية (η_a) : تعين وفق العلاقة:

$$\eta_a = \frac{\tau_a}{\dot{\gamma}_a}$$

1- منحنيات اللزوجة الظاهرية:

قمنا وفق المعطيات التجريبية المحصول عليها برسم منحنيات اللزوجة والتي تمثل تغيرات اللزوجة الظاهرية بدلالة سرعة القص الظاهرية عند درجات الحرارة المدروسة.



الشكل (3) تحولات η_a بدلالة $\dot{\gamma}_a$ للمزيج PLA/PS بنسبة 50/50
T(°C)[(◆)160,(■)165,(▲)170,(×)175]

2- منحنيات الجريان الحقيقية للمزائج المدروسة :

تمّ تعيين كلّ من سرعة القص الحقيقية $\dot{\gamma}_c$ من خلال إجراء تصحيح رابينوفيتش و إجهاد القص الحقيقي τ_c و ذلك من خلال إجراء تصحيح باكلي وذلك من أجل تعيين اللزوجة الحقيقية ، وبيّن الشكل (27) الرسم البياني لمستقيمات باكلي و التي تمثل تغيرات الضغط باستخدام قوالب مختلفة (L/R= 15 , L/R= 25 , L/R=35) وذلك عند سرع قص ثابتة و درجة حرارة ثابتة.

وتمت الحسابات وفق العلاقات الرياضية التالية :

$$\dot{\gamma}_c = \frac{3n + 1}{4n} \dot{\gamma}_a$$

حيث : n : دليل الجريان

$\dot{\gamma}_a$: سرعة القص الحقيقية

$$\tau_c = \frac{p_c}{2(L/R + e)}$$

حيث تمّ اختيار قيمة وسطية ل e ، وتبين المنحنيات البيانية من (28) إلى (36) تغيرات إجهاد القص الحقيقي بدلالة سرعة القص الحقيقية عند درجات الحرارة المدروسة :

3 - منحنيات الجريان الحقيقية للمزائج المدروسة :

تمّ تعيين كلّ من سرعة القص الحقيقية $\dot{\gamma}_c$ و إجهاد القص الحقيقي τ_c و ذلك من خلال قيمة n دليل الجريان للمزائج المدروسة ، و تعيين تصحيح باكلي e من خلال الرسم البياني لمستقيمات باكلي و التي تمثل تغيرات الضغط باستخدام

قوالب مختلفة ($L/R=15$, $L/R=25$, $L/R=35$) وذلك عند سرعة قص ثابتة و درجة حرارة واحدة (نسبة واحدة تم اختيارها لجميع المزائج 50/50) وتمت الحسابات وفق العلاقات الرياضية التالية :

$$\gamma_c = \frac{3n + 1}{4n} \gamma_a$$

حيث n : دليل الجريان

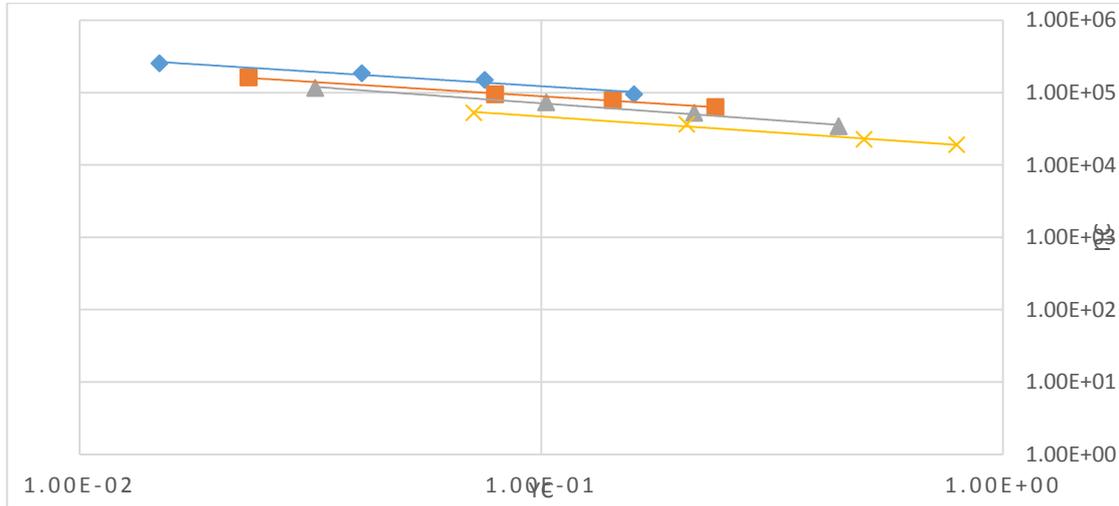
γ_a : سرعة القص الحقيقية

$$\tau_c = \frac{p_c}{2(L/R + e)}$$

حيث تم اختيار قيمة وسطية ل e وتبين المنحنيات البيانية من (37) إلى (45) تغيرات إجهاد القص الحقيقي بدلالة سرعة القص الحقيقية عند درجات الحرارة المدروسة .

4- منحنيات اللزوجة الحقيقية :

قمنا وفق المعطيات التجريبية المحصول عليها برسم منحنيات اللزوجة والتي تمثل تغيرات اللزوجة الظاهرية بدلالة سرعة القص الظاهرية عند درجات الحرارة المدروسة.



الشكل (4) تحولات η_c بدلالة γ_c للمزيج PLA/PS بنسبة 50/50
T(°C)[(♦)160,(■)165,(▲)170,(×)175]

5- طاقة تنشيط الجريان اللزج:

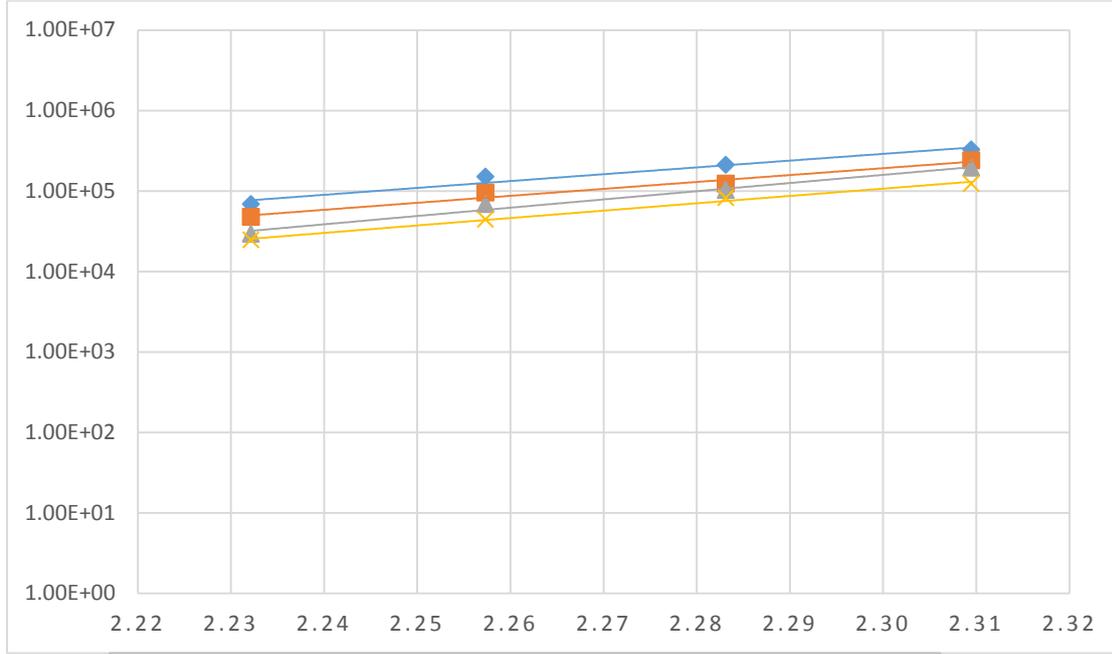
قمنا بدراسة تأثير درجة الحرارة على اللزوجة للمزائج المدروسة من خلال معادلة أرينوس (Arrhenius) وذلك عند إجهادات قص ثابتة وسرعات قص ثابتة:

$$\eta = A.e^{\frac{E}{R.T}}$$

حيث أن:

E : طاقة التنشيط (J/mol), R : ثابت الغازات العام, A : ثابت. T : درجة الحرارة المطلقة (K) η اللزوجة (Pa.s).
ويبين الشكل (5) تحولات اللزوجة بدلالة مقلوب درجة الحرارة المطلقة عند إجهادات قص ثابتة

$$(\tau_a : 16662.4, 12496.8, 8331.2, 4165.6$$



الشكل (5) تحولات η_a بدلالة 1/T للمزيج PLA/PS بنسبة 50/50
 $\tau_a(\text{Pa})[(\diamond)16662.4, (\blacksquare)12496.8, (\blacktriangle)8331.2, (\times)4165.6]$

6 - دراسة الخواص المرنة للمزائج:

1- تعيين معدل الانتفاخ لباروس (B):

واحد من أهم الظواهر التي تلاحظ بعد خروج الميثوق من القالب الشعري أو قالب التشكيل، هي الانتفاخ (انتفاخ المقطع العرضي للميثوق). يدعى هذا التغير بالأبعاد بمعدل الانتفاخ. ويعبر معدل الانتفاخ عن النسبة بين قطر الميثوق الناتج من القالب (D_x) وقطر القالب (D_d) ويعطى بالعلاقة التالية:

$$B = \frac{D_x}{D_d}$$

وينتج معدل الانتفاخ من الطبيعة اللزجة - المرنة لمصهور البوليمير. يقوم مصهور البوليمير نتيجة احتوائه على خواص لزجة - مرنة بتبديد القوة ببطء. والقوة الضاغطة الضرورية لدفع مصهور البوليمير من أرض القالب ومن فتحة القالب الصغيرة لاتسترخي بشكل كامل مع الوقت في مصهور البوليمير إنما يخترن جزء منها في المصهور. لذلك يتمدد المصهور حالما يخرج من القالب وذلك استجابةً للقوى المتبقية في الصهارة. قمنا بتعيين معدل الانتفاخ لباروس (B) باستخدام مقياس اللزوجة ذو القالب الشعري عند الدرجة (190°C) وذلك باستخدام القالب الشعري (L/R=15) وفق العلاقة السابقة.

كما قمنا بدراسة استرخاء الجهد SR للبوليميرات و المزائج من خلال متابعة قياس معامل الانتفاخ لباروس B :

$$S_R = (B^4 + \frac{2}{B^2} - 3)^3$$

و سنقوم بتعيين فرق الاجهادات النازمية على محاور التدفق $\eta_{xx} - \eta_{yy}$:

$$\eta_{xx} - \eta_{yy} = \frac{2}{3} \cdot \tau_0 (B^4 + \frac{2}{B^2} - 3)^3$$

ومن دراسة استرخاء الجهد و الاجهاد الأول τ_0 يمكن تعيين معامل القص G التي تعانيتها البوليميرات المدروسة :

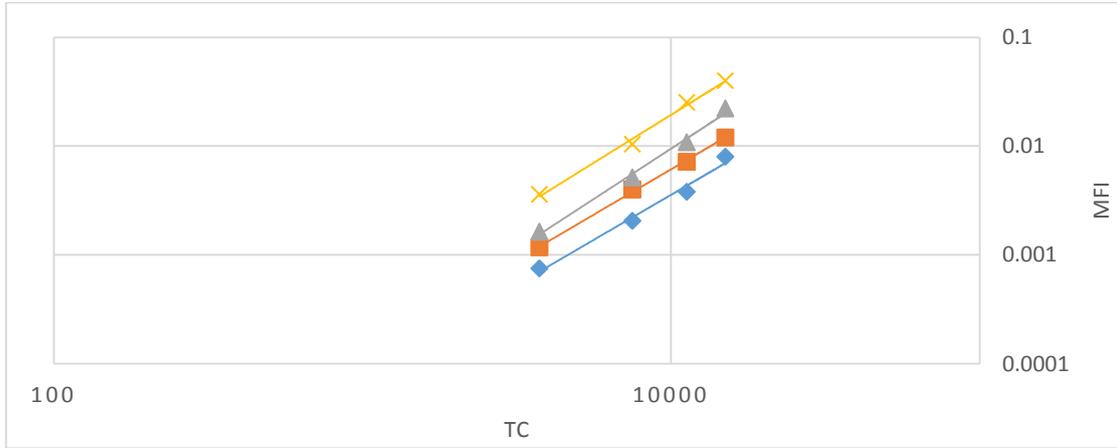
$$G = \frac{2}{3} \cdot \frac{\tau_0}{SR}$$

سنقوم أيضا بإظهار تابعة استرخاء الجهد و معامل القص و معامل باروس وفق بيانات خاصة تسمح لنا بتشخيص البوليميرات و مزائجها من جراء تأثير الحمولات المرتفعة الشكل و درجة الحرارة الجدول (3) يبين قيم كل من معامل السيولة (MFI) و معامل باروس (B) و معامل استرخاء الجهد (SR) و معامل القص لمزيج PLA/PS بنسبة 50/50

الجدول (3) يبين قيم كل من معامل السيولة (MFI) و معامل باروس (B) و معامل استرخاء الجهد (SR) و معامل القص لمزيج PLA/PS بنسبة 50/50.

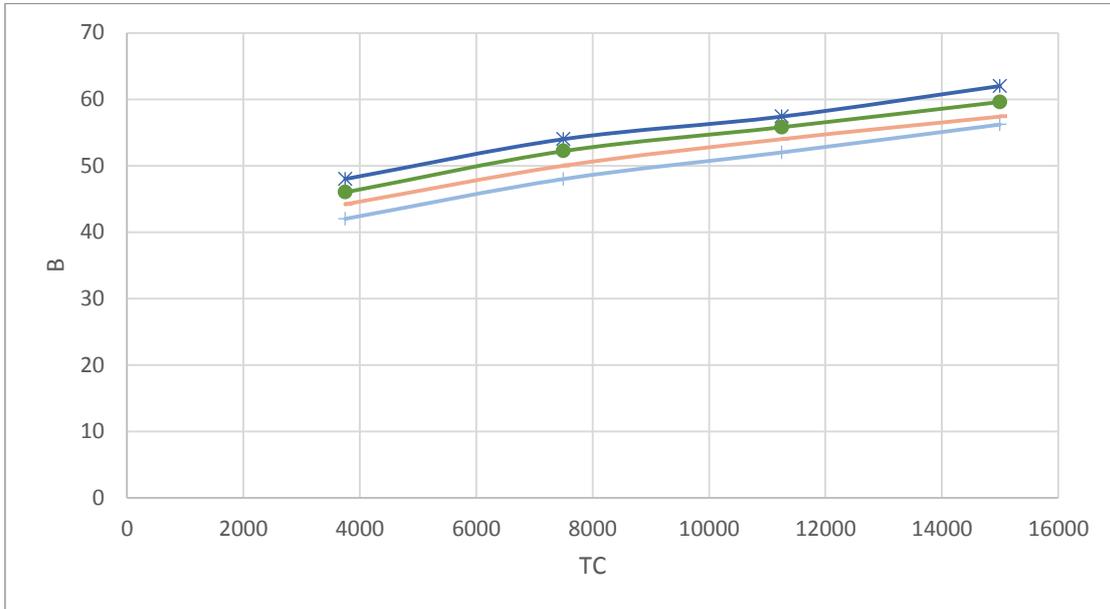
D	B	SR	G
2.4	48	2304	2474.4
2.7	54	2916	4948.7
2.87	57.4	3295	7423.1
3.1	62	3844	9897.5
2.3	46	2116	2474.4
2.61	52.2	2725	4948.7
2.79	55.8	3114	7423.1
2.98	59.6	3552	9897.5
2.1	42	1764	2474.4
2.4	48	2304	4948.7
2.6	52	2704	7423.1
2.81	56.2	3158	9897.5
2.21	44.2	1954	2474.4
2.5	50	2500	4948.7
2.7	54	2916	7423.1
2.87	57.4	3295	9897.5

1- تحولات معامل السيولة MFI بدلالة إجهاد القص الحقيقي :



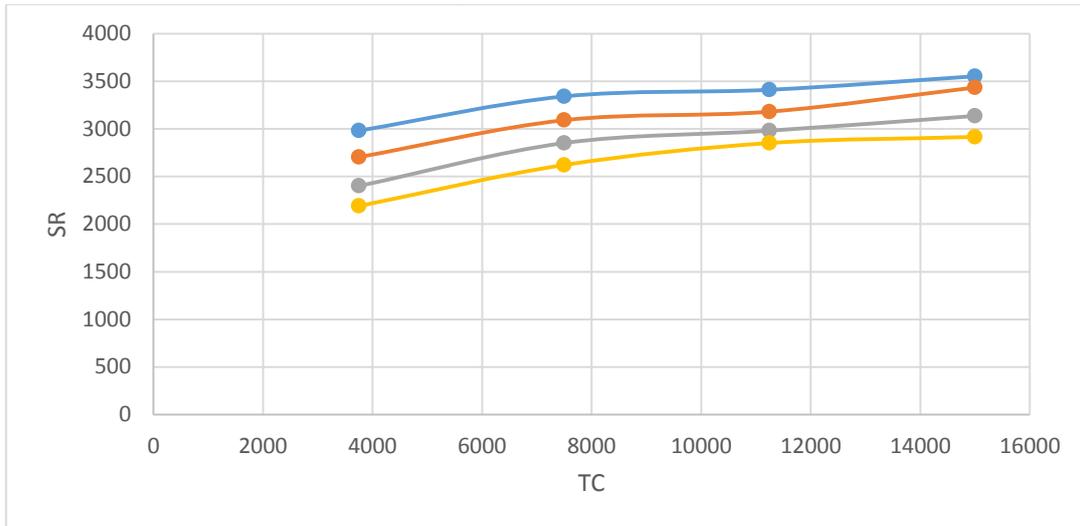
الشكل (6) تحولات MFI بدلالة τ_c للمزيج PLA/PS بنسبة 50/50
 $T(^{\circ}C)[(\diamond)160,(\blacksquare)165,(\blacktriangle)170,(x)175]$

2- تحولات معامل الانتفاخ B بدلالة إجهاد القص الحقيقي :



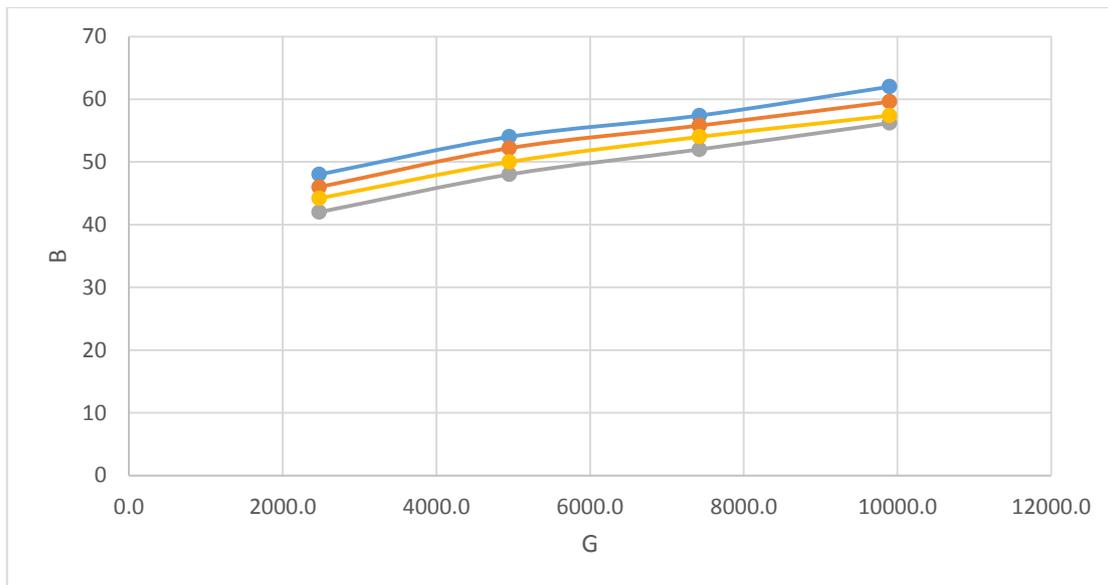
الشكل (7) تحولات B بدلالة τ_c للمزيج PLA/PS بنسبة 50/50
 $T(^{\circ}C)[(\diamond)160,(\blacksquare)165,(\blacktriangle)170,(x)175]$

تحولات معامل الاسترخاء SR بدلالة إجهاد القص الحقيقي : -3



الشكل (8) تحولات SR بدلالة T_c للمزيج PLA/PS بنسبة 50/50
 $T(^{\circ}C)[(\diamond)160,(\blacksquare)165,(\blacktriangle)170,(x)175]$

تحولات B بدلالة G : -4



الشكل (9) تحولات B بدلالة G للمزيج PLA/PS بنسبة 50/50
 $T(^{\circ}C)[(\diamond)160,(\blacksquare)165,(\blacktriangle)170,(x)175]$

References:

1. Lundquist L , Manson J (2001) Life Cycle Engineering of Plastic Technology , Economy and Environment . Elsevier Science and Technology Books.
 - 2- Dorgan JR,Lehermeirer H,Mang M(2000) Thermal and Rheological Properties of Commercial –Grade Poly (Lactic Acid)s . J Polym Environ .
 - 3- Kim YF , Choi CN , Kim YD , Lee MS (2004) Compatibilization of immiscible poly (L-Lactide) and low density polyethylene blends , Fil polym.
 - 4- Anderson KS , Hillmyer MA (2004) The influence of block copolymer microstructure on the toughness of compatibilized polylactide /polyethylene blends .
 - 5.Mihai M, Huneault M, Favis BD (2007) Foaming of polystyrene/thermoplastic starch blends. J Cell plast 43:215-236
 - 6.Schlemmer D, Sales M, Resck IS (2009) Degradation of different polystyrene/thermoplastic starch blends buried in soil. Carbohydr Polym 75:58-62
 - 7.Seena M, Hossam F, Naggar A (2008) Compatibilization of low-density polyethylene /plasticized starch blends by reactive compounds and electron beam irradiation. Polym Compos 29:1137-1144
 - 8.Huneault M, Li H (2007) Morphology and properties of compatibilized polylactide/thermoplastic starch blends. Polymer, 48:270-280
 - 9.Wang N, Yu J, Ma X (2007) Preparation and characterization of thermoplastic starch/PLA starch blends by one-step reactive extrusion. Polym Int 56:1440-1447
 - 10.Wang N, Yu J, Chang P, Ma X (2007) Influence of citric acid on the properties of glycerol-plasticized dry starch (DTPS) and DTPS/poly(lactic acid) blends. Starch 59:409-417
 - 11.Wang N, Yu J, Ma X (2008) Preparation and characterization of compatible thermoplastic dry starch/poly(lactic acid). Polym Compos 29:551-559
 12. Wang N, Yu J, Chang P, Ma X (2008) Influence of formamide and water on the properties of thermoplastic starch/poly(lactic acid) blends. Carbohydr Polym 71:109-118
 - 13.Schwach E, Six J, Averous L (2008) Biodegradable blends based on starch and poly(lactic acid): comparison of different strategies and estimate of Compatibilization J Polym Environ 16:268-297
 14. Huneault MA, Li H (2011) Effect of chain extension on the Properties of PLA/TPS blends. J Appl Polym Sci 119:2439-2448
 15. Park JW, Im SS (2002) Phase Behavior and morphology in blends of poly(L-lactic acid) and poly(butylene succinate). J Appl Polym Sci 86:647-655
 - 16- *Polymers* **2020**, *12*(4), **892**; <https://doi.org/10.3390/polym12040892>
-Received: 30 March 2020 / Revised: 8 April 2020 / Accepted: 11 April 2020 / Published: 12 April 2020
- (This article belongs to the Special Issue [Mechanical and Advanced Properties of Polymers](#))
- 18- Rheological, Morphological and Mechanical Studies of Sustainably Sourced Polymer Blends Based on Poly(Lactic Acid) and Polyamide 11

