مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية
مجلد 41-عدد 4 (2025): 113- 125

Damascus University Journal for the Basic Sciences
Vol 41 No.4 (2025): 113 -125

دراسة الخواص الريولوجية في الحالة المنصهرة لمزائج أساسها PLA/ABS وتعيين خواصها الميكانيكية

خاتون خليل الحمد[1] فواز أحمد الديري[2] باسلة أحمد ابراهيم[3].

[1]طالبة دكتوراه، قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة دمشق، دمشق، سورية،
khatoon.alhamad@damascusuniversity.edu.sy
[2] الاستاذ الدكتور المهندس فواز الديري، قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة دمشق، ريولوجيا المواد البلاستيكية،
AL-Deri@damascusuniversity.edu.sy.
[3] الاستاذة الدكتورة باسلة إبراهيم، قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة دمشق، كيمياء السيليلوز،
basela.Ibrahim@damascusuniversity.edu.sy.

الملخص:

حُضّر مزيج من PLA/ABS بنسبة (10/90, 50/50) في الحالة المنصهرة باستخدام آلة البثق بلولب وحيد، ودرست الخواص الريولوجيا تحت تأثير درجات الحرارة وإجهادات القص العالية، وذلك باستخدام مقياس اللزوجة ذي القالب الشعري، رُسمت تحولات إجهاد القص الظاهري بدلالة سرعة القص الظاهرية عند درجات حرارة متنوعة ^0C(190, 200, 210, 220)، عُينت قيم دليل الجريان n للمزيج المدروس، وتبين لدينا من خلال الدراسة أن المزيج المدروس من فصيلة اللدائن الشبية بالبلاستيك (n<1)، كما دُرست منحنيات باكلي وذلك بدراسة تحولات الضغط P_c بدلالة النسبة L/R وتم تحديد قيمة تصحيح باكلي (e)، ومن خلال هذه المعطيات تم تعيين اللزوجة الحقيقية η_c، ووجد أن اللزوجة الحقيقية تنخفض مع ارتفاع إجهاد القص ومعدلات سرعة القص الحقيقية العالية.

درست الخواص الميكانيكية للمزيج باستخدام جهاز الشد وتم تعيين كل من الإجهاد عند القطع والانفعال ومعامل يونغ، تبين أن الإجهاد عند القطع للمزيج يزداد مع ازدياد نسبة ABS في المزيج، كما تبين أن معامل يونغ للمزيج يكون منخفض ثم يبدأ بالارتفاع بزيادة نسبة ABS.

تاريخ الإيداع: 2024/01/28
تاريخ الموافقة: 2024/05/08

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

الكلمات المفتاحية: بوليمر PLA/ABS، خواص ريولوجية، خواص ميكانيكية.

ISSN (online): 2789-6366
http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.php/index/index

Studying the rheological properties in the molten state of blends based on PLA/ABS and determining their mechanical properties

Khatoon Khalil Al-Hamad[1]. Fawaz Ahmad AL-Deri[2] Basila Ahmed Ibrahim[3]

[1] PhD Student, Chemistry Department, Faculty of Science, Damascus University, Damascus, Syria, khatoon.alhamad @damascusuniversity.edu.sy
[2] Professor Dr, Chemistry Department, Faculty of Science, Damascus University, The rheology of plastics, AL-Deri@damascusuniversity.edu.sy.
[3] Professor Dr, Chemistry Department, Faculty of Science, Damascus University, Cellulose chemistry, basela.Ibrahim@damascusuniversity.edu.sy.

Abstract:

A blend of PLA/ABS in ratios of (10/90,50/50) was prepared in a molten state using a single-screw extruder machine. The rheological properties were studied under various temperatures and high shear stresses using a capillary rheometer, the apparent shear stress transformations were plotted against the apparent shear rate at different temperatures (190, 200, 210, 220)^{0}C, the flow index values (n) for the studied blend were determined, indicating that the plastic blend (n<1) belongs to a similar family of plastics. The Baekle curves were studied by analyzing the pressure transformations (P) with respect to the relative L/R ratio.and The Baekle correction value (e) was determined Using this data the true viscosity (ɳ) was estimated, showing that the true viscosity decreases with increasing shear stress and high true shear rate values.

The mechanical properties of the blend were evaluated using a tensile testing machine. and the stress at break, yield stress, and Young's modulus, were determined. It was observed that the stress at break increased with an increase in the proportion of ABS in the blend, while the Young's modulus initially decrease and then starts to increase with an increase in the ABS ratio.

Keywords: polymer PLA/ABS, rheological properties, mechanical properties.

Received :28/01/2024
Accepted: 08/05/2024

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

المقدمة:

أصبح علم المزائج البوليمرية أكثر أهمية في العقود الأخيرة ولاسيما في المجالات الصناعية والتجارية لأسباب عديدة منها اسباب اقتصادية حيث أن الحصول على بوليمرات جديدة أغلى بكثير من تطوير مزائج بوليمرية، حيث كانت عملية مزج البوليمرات القابلة للتحلل الحيوي مع البوليمرات الأخرى أحد الحلول المهمة للتخلص من النفايات البلاستيكية، حيث يساعد هذا النوع من المزج في الحصول على مادة قابلة للتحلل الحيوي وبتكلفة قليلة. فالخليط البوليمري عبارة عن مزج اثنين أو أكثر من البوليمرات للحصول على مادة جديد، إن الهدف من تحضير المزائج البوليميرية هو الحصول على صفات جديدة، لا يمكن إيجادها في البوليمرات المفردة، كما أن تحضير المزائج البوليمرية يعتمد على قابلية امتزاج البوليمرات للحصول على مواد بوليمرية تملك خصائص كيميائية وفيزيائية ومكانيكية جيدة Wnuczek et al., 2021 ; Freed., 2005;Grum et al., 1997) .

في هذا العمل تم مزج كلاً من (PLA) ، (ABS) في الحالة الصلبة بنسب مختلفة حيث يتناول هذا العمل محاولة تحسين الخصائص الميكانيكية والريولوجية لـ PLA بواسطة مزجه مع الـ ABS مع المحافظة على صفة التحلل الحيوي التي يتميز بها الـ PLA ، وبولي حمض اللبن (PLA) هو بولي أستر قابل للتحلل الحيوي ومشتق من مصادر متجددة (النشاء و السكر) (Gu et al., 2018) ، بينما يتكون البوليمر التشاركي ABS من الأكريل نتريل والبوتاديين والستيرين، حيث تساهم مشاركة هذه المواد مع بعضها في قوة التأثير والقوة الميكانيكية العالية التي تجعله بوليمر حراري وقاسي مناسب للمنتجات الاستهلاكية القاسية، يتم تصنيعه بمكابس الحقن وتشكيله على آلات البثق، يستخدم الـ ABS في الأدوات المنزلية وفي صناعة الأنابيب وفي صناعة الأدوات والتجهيزات مثل بطانات البرادات والتلفزيونات (Hamod., 2015)، يُظهر بلاستيك ABS متانة ومرونة جيدة، بالإضافة إلى القوة الميكانيكية (Rutkowski et al., 1986).

ومن طرائق التشكيل المعروفة لبولي حمض اللبن القولبة بالحقن والبثق والتشكيل الحراري للحاويات والأكواب وبثق الأفلام والألياف (Weber et al., 2002; Siebott., 2007) ولأن PLA يشتق من مصادر متجددة فهو قابل للتحلل الحيوي فإنه يعد المادة الواعدة في حل مشكلات التلوث البيئي المرتبطة باستخدام المواد البلاستيكية (Auras et al., 2004; Garlotta., 2001).

المواد المستخدمة:

-بوليمر بولي حمض اللبن (PLA) مستورد من شركة Bright China Industrial Company، كثافته $1.25\ g/cm^3$، معامل السيولة MFI=12.5 g/10 min(190C0/2.18Kg).

-بوليمر الأكريل نتريل_بوتاديين_ستيرين (ABS) مستورد من شركة Kumho Petrochemical CO، كثافته 1.04 g/cm3، معامل السيولة MFI=50 g/10 min(200C0/21.6Kg).

طريقة تحضير المزيج:

تم تحضير مزيج من (PLA/PC) باستخدام آلة بثق بلولب وحيد نموذج (SHAM EXTRUDER) (Hamad et al., 2011)، وتم بثق المزيج من خلال قالب معدني بطول 4 سم وقطر 3 مم، حيث تندفع المواد إلى آلة تحبيب ليصار إلى تحبيبها، وأجريت الدراسة على نسب وزنية للبوليمرات كما هو موضح بالجدول (1):

الجدول(1): نسبة المكونات للمزيج PLA/ABS

رمز العينة	Wt%	-	نسبة المزج Wt%
PLA/ ABS:10/90	10% PLA	-	90% ABS
PLA/ ABS:50/50	50% PLA	-	50% ABS

شروط العمل:

أجريت الدراسة بمخبر ريولوجيا المواد وعند درجات الحرارة ^0C (190, 200, 210, 220) للمزيج PLA/ABS (10/90,50/50)، وباستخدام مقياس اللزوجة ذي القالب الشعري المعدني نموذج (Davenport 3/80) (Déri et al., 1989) وذلك باستعمال أربعة قوالب معدنية أبعادها موضحة بالجدول (2):

الجدول (2): أبعاد القالب الشعري المستعمل

القالب الشعري	1	2	3	4
طول القالب الشعري L (mm)	0.8	1.4	2.4	3.5
نصف قطر القالب الشعري R(mm)	0.1	0.1	0.1	0.1
L/R	8	14	24	35

تم تعيين غزارة تدفق المادة عبر القالب الشعري (Q) والتي يحسب من خلالها معدل سرعة القص الظاهرية (γ_a) وفق العلاقة الآتية (Hamad et al., 2011; Sinthavathavorn et al., 2008):

$$\gamma_a = \frac{4.Q}{\pi.R_c^3} \qquad (1)$$

حيث أن:

Q: غزارة التدفق الحجمية(cm^3/sec) .

Rc: نصف قطر القالب الشعري(cm).

ومن خلال قيم الضغط عند حمولات مختلفة تم تعيين قيم إجهادات القص الظاهرية (τ_a) وفق العلاقة الآتية (Al-kaseem et al.,2010; Sheng Chen 2008):

$$\tau_a = \frac{P.R_c}{2L} \qquad (2)$$

حيث أن:

P: الضغط الظاهري المطبق($dyne/cm^2$)

RC: نصف قطر القالب الشعري(cm).

L: طول القالب الشعري(cm).

ويعين معدل سرعة القص الحقيقية (γ_c) من خلال إجراء تصحيح رابينوفيتش(Rabinowistch correction) وفقاً للمعادلة الآتية (Sinthavathavorn et al.,2009):

$$\gamma_c = \frac{(3n+1)}{4n}.\frac{4Q}{\pi R^3} \qquad (3)$$

حيث أن:

γ_a: معدل سرعة القص الظاهرية (s^{-1}).

n: دليل الجريان ويعين من منحنيات الجريان وفق العلاقة $n = \frac{d \log \tau_a}{d \log \gamma_a}$

ولتعيين إجهاد القص الحقيقي (τ_c) تم إجراء تصحيحات باكلي باستخدام مجموعة من القوالب الشعرية متماثلة القطر ومختلفة الأطوال وفقاً للمعادلة الآتية (Bagley 1957):

$$\tau_c = \frac{P_c}{2\left(\frac{L}{R_c}+e\right)} \qquad (4)$$

حيث أن:

τ_c:إجهاد القص الحقيقي.

P_c:الضغط الحقيقي داخل قناة القالب الشعري

L: طول القالب الشعري.

R_c: نصف قطر القالب الشعري.

e: معامل تصحيح باكلي($e \simeq 13$)

ومنه يتم تعيين اللزوجة الحقيقية (η_c) وفق العلاقة التالية:

$$\eta_c = \frac{\tau_c}{\gamma_c} \qquad (5)$$

الخواص الميكانيكية:

تُعرّف الخواص الميكانيكية بأنها الخواص التي تتعلق بسلوك المادة عند تعريضها للأحمال المؤثرة (الاحمال الستاتيكية أو الديناميكية أو المتكررة)، وتستخدم كأساس للمقارنة بين المواد الهندسية المختلفة وغيرها من المواد.

وللأحمال الستاتيكية تأثير بطيء بالمقارنة مع الأحمال الديناميكية المتكررة، ولتوصيف البوليمرات وفق الخواص الميكانيكية المؤثرة هنالك دالات مميزة لهذا التوصيف نذكر منها الاجهاد والانفعال وحد المرونة.

تعبر دراسة التغير الحاصل في ابعاد البوليمر كدالة للاجهاد من الخصائص الميكانيكية المهمة لجميع البوليمرات فعند تسليط جهد ما على نموذج العظمة من البوليمر بسرعة ثابتة وقياس التشوه الحاصل في النموذج بدلالة التغير في الطول فيمكن الحصول على سلوك البوليمر تحت تأثير الاجهاد (Milisavljević et al., 2012; Kim et al 2005).

حيث أن الإجهاد المسلط على البوليمر هو القوة المطبقة على وحدة المساحة من السطح الذي تطبق علية القوة وفق العلاقة:

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad (6)$$

حيث أنَّ F: القوة المطبقة على الغشاء (N)

A: مساحة مقطع نموذج العظمة (cm^2)

ومن جهة اخرى يمكن تعيين نسبة الزيادة في طول نموذج الاختبار (العظمة) قبل التمزق تحت تأثير الاجهاد الأصلي من العلاقة التالية:

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \qquad (7)$$

والاستطالة المئوية تحسب من العلاقة:

$$\varepsilon\% = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} * 100 \qquad (8)$$

ومما تقدم يمكن توصيف البوليمر من خلال معرفة معامل المرونة أو مايسمى بمعامل يونغ ويحسب من العلاقة التالية:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \qquad (9)$$

تمت دراسة الخواص الميكانيكية للعينات بمركز البحوث للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا
واستخدم لتشكيل عينات الشد مكبس يدوي للعينات المستطيلة وهو من تصنيع شركة CEAST الإيطالية، يؤمن المكبس إمكانية تسخين العينات أثناء الكبس من خلال وشيعتين كهربائيتين في طرفي المكبس كما هو مبين بالشكل (1):

الشكل (1): مكبس يدوي للعينات المستطيلة

أجريت اختبارات الشد للمزيج PLA/ABS باستخدام جهاز الاختبارات الميكانيكية والجهاز من إنتاج شركة JINAN طراز WDW-50، كما هو مبين بالشكل (2):

الشكل (2): جهاز الاختبارات الميكانيكية

وباستخدام جهاز قص عينات الشد والجهاز مصنع من قبل شركة CEAST كما هو مبين بالشكل (3) ويعمل على الهواء المضغوط تم قص العينات على شكل نموذج العظمة كما هو مبين بالشكل (4):

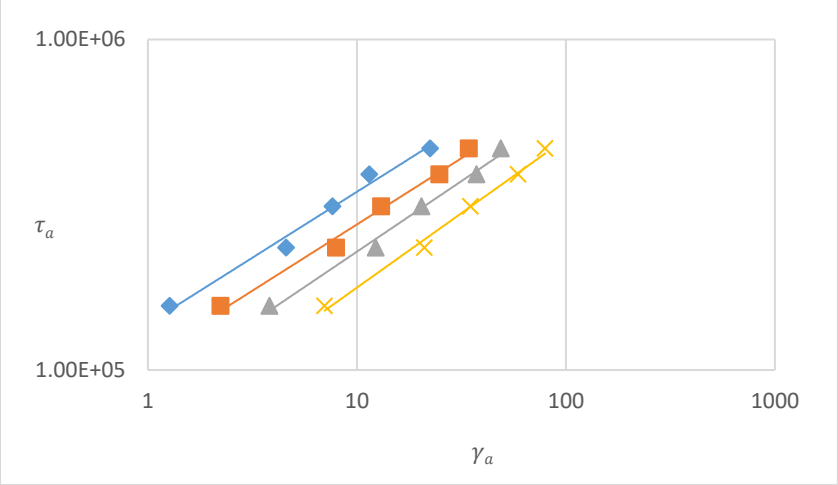
الشكل (3): جهاز القص

الشكل (4): العينات التي اجري عليها اختبارات الشد

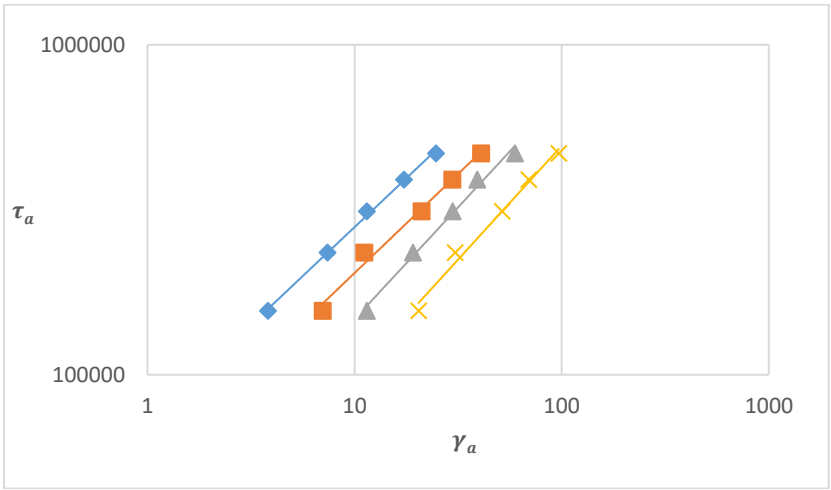
النتائج والمناقشة:

تعيين منحيات الجريان:

وفق المعطيات التي تم الحصول عليها عُينت منحنيات الجريان للمزائج المدروسة، وذلك برسم تحولات إجهاد القص الظاهري (τ_a) بدلالة سرعة القص الظاهرية (γ_a) عند درجات حرارة مختلفة والقالب (L/R=8) .



الشكل(5) تحولات (τ_a) بدلالة (γ_a) للمزيج PLA/ABS (10/90)
T(C°) [(♦)190,(■)200,(▲)210,(x)220]



الشكل(6) تحولات (τ_a) بدلالة (γ_a) للمزيج PLA/ABS (50/50)
T(C°) [(♦)190,(■)200,(▲)210,(x)220]

تفيد هذه المنحنيات في تعيين دليل الجريان (n) وفق العلاقة التالية:

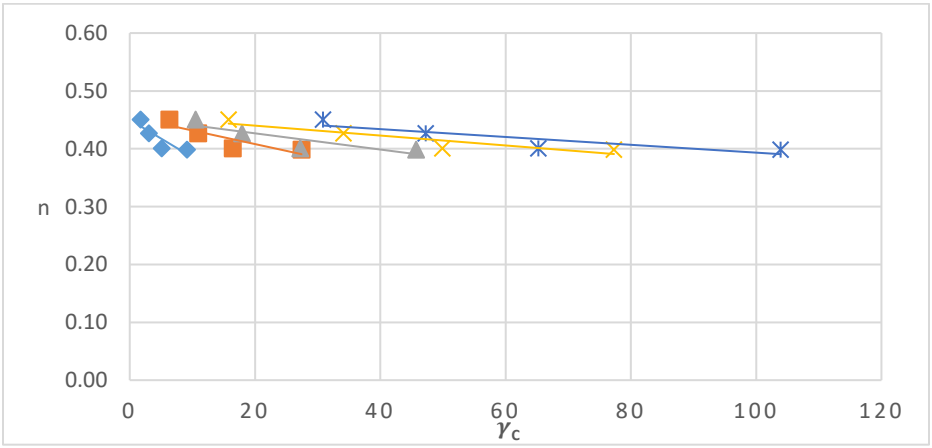
$$n = \frac{d \log \tau_a}{d \log \gamma_a} \qquad (10)$$

ويبين الجدول (3) قيم دليل الجريان n للمزائج المدروسة:

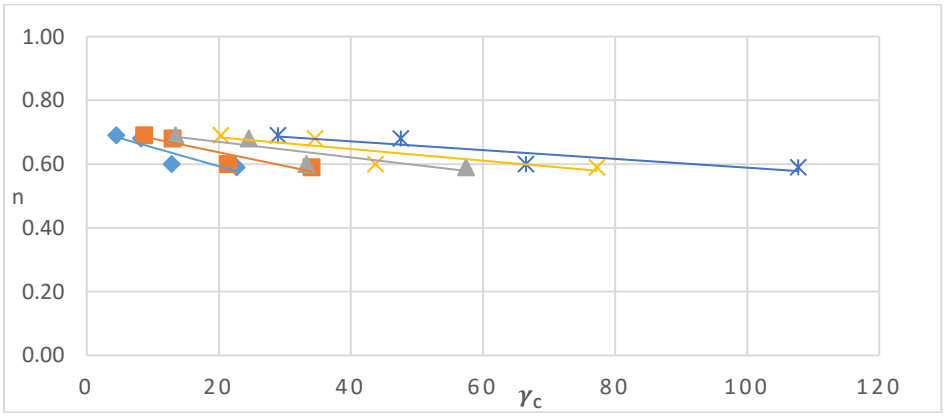
الجدول (3) قيم دليل الجريان(n)المزائج المدروسة.

	PLA/ABS	10/90	50/50
n	190 C°	0.45	0.69
	200 C°	0.43	0.68
	210 C°	0.40	0.60
	220 C°	0.40	0.59

تبين ان دليل الجريان (n<1)، وهو ما يثبت أن المزائج المدروسة تنتمي في سلوكها الريولوجي إلى المواد الشبيهة بالبلاستيك، أي أن اللزوجة تنخفض بارتفاع معدل سرعة القص، نستنتج من قيم دليل الجريان n عند درجات مختلفة من الحرارة ولمزائج متنوعة أن هذه القيم تتأثر بشكل واضح بين درجة حرارة وأخرى وبين مزيج وآخر الأمر الذي يسهل علينا توصيف سلوكية كل مزيج، حيث تفيد n في تصنيف سلوكية المواد والمزائج المدروسة وتعيين معدل سرعة القص الحقيقية، وتبين الأشكال (7,8) تحولات n بدلالة معدل سرعة القص الحقيقية γ_c:



الشكل (7): تحولات قيم دليل الجريان n بدلالة سرعة القص الحقيقية γ_c للمزيج PLA/ABS(10/90)
T(ºC)[(♦)190,(■)200,(▲)210,(×)220]



الشكل (8): تحولات قيم دليل الجريان n بدلالة سرعة القص الحقيقية γ_c للمزيج PLA/ABS(50/50)
T(ºC)[(♦)190,(■)200,(▲)210,(×)220]

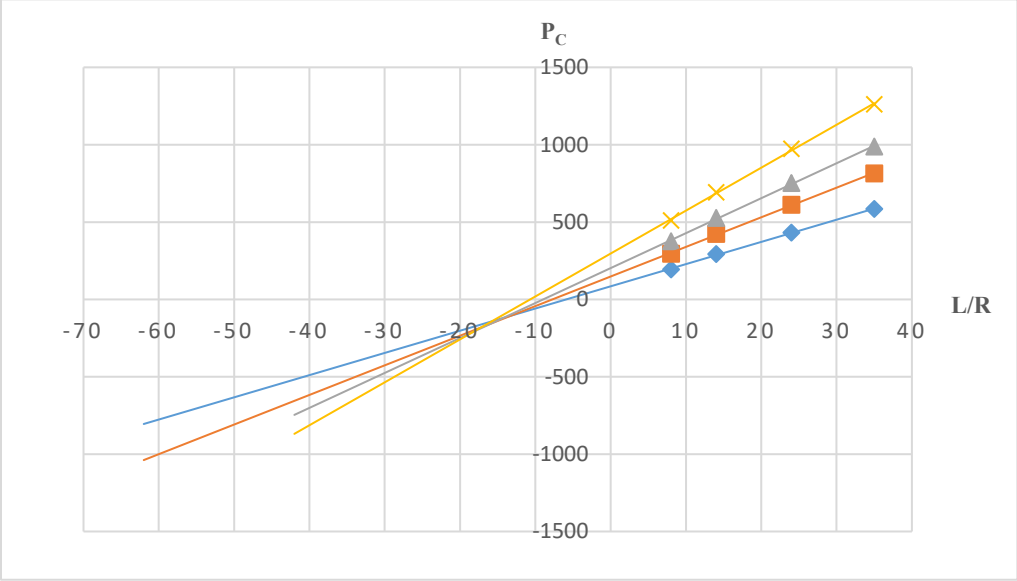
يظهر كل من الشكلين (7,8) انخفاض قيم n بدلالة ارتفاع معدل سرعة القص، أي أن دليل الجريان يتماشى مع حساسية معدل سرعة القص عند ارتفاع درجات الحرارة.

تصحيح المعطيات التجريبية:

تصحيح باكلي:

ووفقا لطريقة باكلي، تم تعيين معامل تصحيح باكلي (e) وذلك بأخذ سرعات قص معينة على منحنيات الجريان السابقة وتعيين قيم الضغوط المقابلة لهذه السرعات عند القوالب المستخدمة وبالرسم البياني لتحولات هذه الضغوط بدلالة أبعاد القوالب المستخدمة L/R عند سرعات قص ثابتة نحصل على خطوط مستقيمة ومن تمديد هذه الخطوط نحصل على قيمة e وذلك عند الدرجة (200^0C).

ومن ثم يتم تعيين إجهاد القص الحقيقي وفق العلاقة (4) وعلى سبيل المثال يوضح الشكل(9) تحولات P_c بدلالة L/R عند درجة الحرارة (200^0C) للمزيج PLA/ABS (50/50).



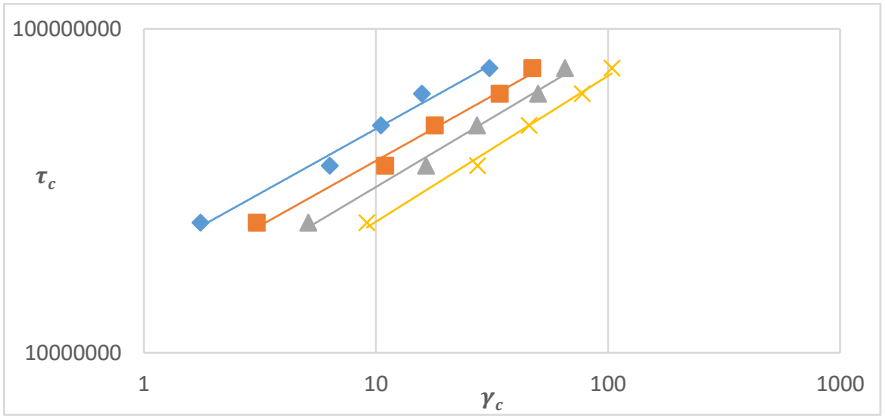
الشكل(9) مستقيمات باكلي تحولات (P_c) بدلالة (L/R) للمزيج PLA/ABS (50/50)
$\gamma_a(sec^{-1})[(\blacklozenge)10, (\blacksquare)50, (\blacktriangle)100, (x)150]$

تصحيح رابينوفيتش ومعدل سرعة القص الحقيقية (γ_c):

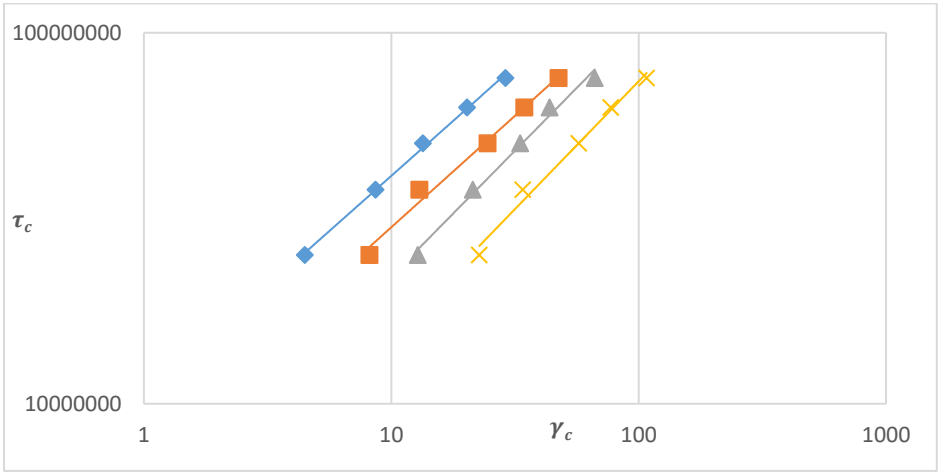
يتم تصحيح سرعة القص الحقيقية وفق العلاقة الآتية:

$$\gamma_c = \frac{(3n+1)}{4n}.\gamma_a \qquad (11)$$

ومن خلال التصحيحات السابقة تم رسم تحولات إجهاد القص الحقيقي بدلالة معدل سرعة القص الحقيقية عند درجات الحرارة المطبقة، وتفيد هذه الأشكال في تحديد سلوك الجريان للمزيج المدروس كما في الشكلين(10) و(11):



الشكل(10) تحولات (τ_c) بدلالة (γ_c) للمزيج PLA/ABS (10/90)
T(C°) [(♦)190,(■)200,(▲)210,(x)220]

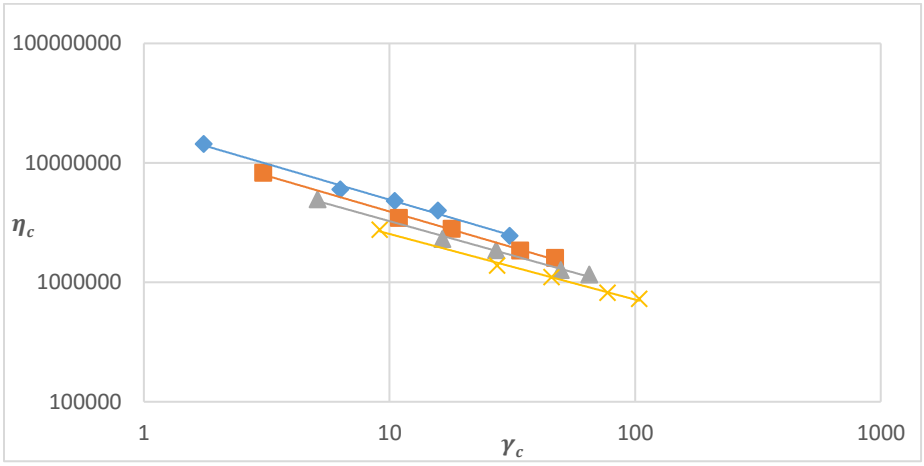


الشكل(11) تحولات (τ_c) بدلالة (γ_c) للمزيج PLA/ABS (50/50)
T(C°) [(♦)190,(■)200,(▲)210,(x)220]

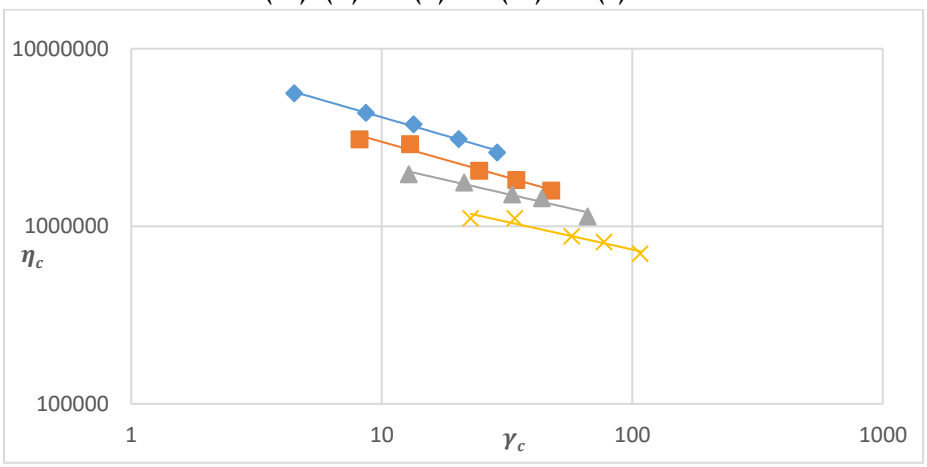
بعد أن تم حساب كلاً من إجهاد القص الحقيقي ومعدل سرعة القص الحقيقية أصبح بالإمكان تعيين اللزوجة الحقيقية η_c وفقاً للعلاقة التالية:

$$\eta_c = \frac{\tau_c}{\gamma_c} \qquad (12)$$

ويبين كل من الشكلين (12) و(13) تحولات اللزوجة الحقيقية η_c بدلالة سرعة القص الحقيقية γ_c:



الشكل (12) تحولات (η_c) بدلالة (γ_c) للمزيج PLA/ABS (10/90)
T(C°) [(♦)190,(■)200,(▲)210,(x)220]

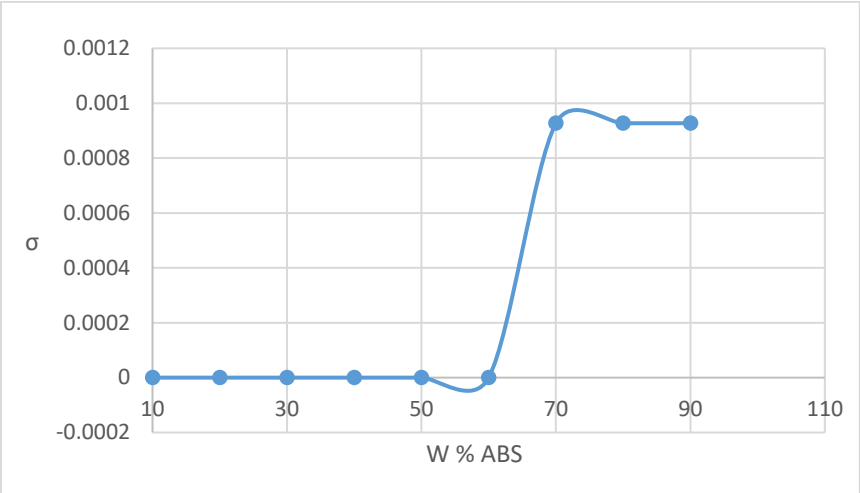


الشكل (13) تحولات (η_c) بدلالة (γ_c) للمزيج PLA/ABS (50/50)
T(C°) [(♦)190,(■)200,(▲)210,(x)220]

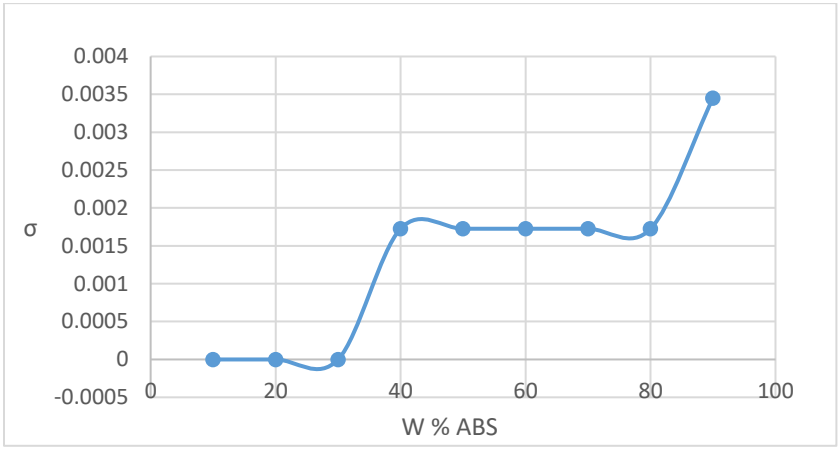
يظهر كل من الشكلين (12) و(13) إن اللزوجة الحقيقية (η_c) تنخفض مع ازدياد سرعة القص الحقيقية γ_c للمزائج المدروسة عند جميع درجات الحرارة، وهذا ما يميز سلوك المواد الشبيهة بالبلاستيك، فعند ارتفاع معدل سرعة القص تنتظم السلاسل باتجاه الإجهاد المطبق محاولةً الاقتراب من بعضها البعض يترافق بانخفاض اللزوجة مقدمة اختياراً عملياً في اختيار عملية التشكيل المناسبة للبوليمر إما بالبثق أو الحقن.

الخواص الميكانيكية:

أجريت اختبارات الشد للمزيج PLA/ABS بالنسب (10/90,50/50) باستخدام نموذج العظمة، وتعيين كل من الإجهاد والانفعال ومعامل يونغ، ويبين كل من الشكلين (14,15) تحولات الإجهاد عند القطع بدلالة تركيب المزيج (PLA/ABS)، فالمزج تم عند درجة الحرارة 250^0C في حين تم اختبار الشد عند درجة حرارة المخبر 25^0C.



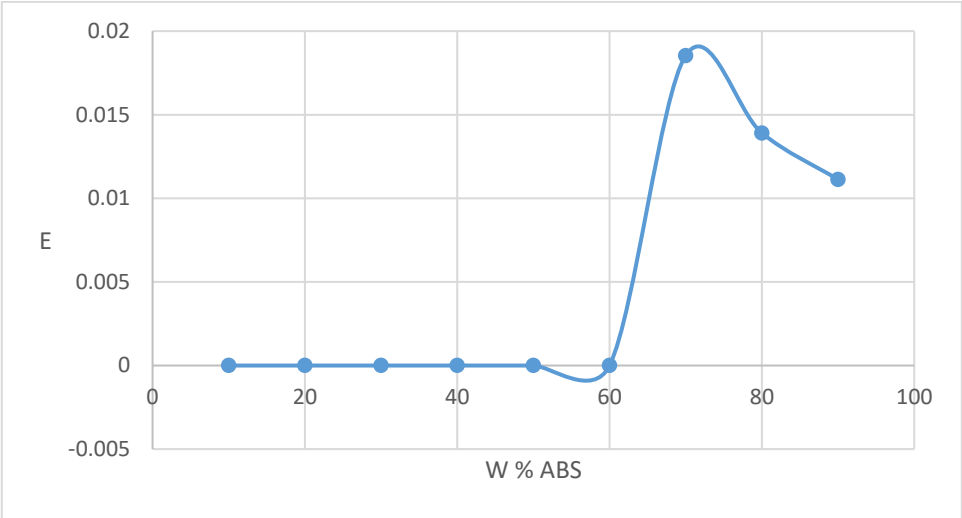
الشكل (14) تحولات الإجهاد عند القطع بدلالة تركيب المزيج PLA/ABS (10/90)



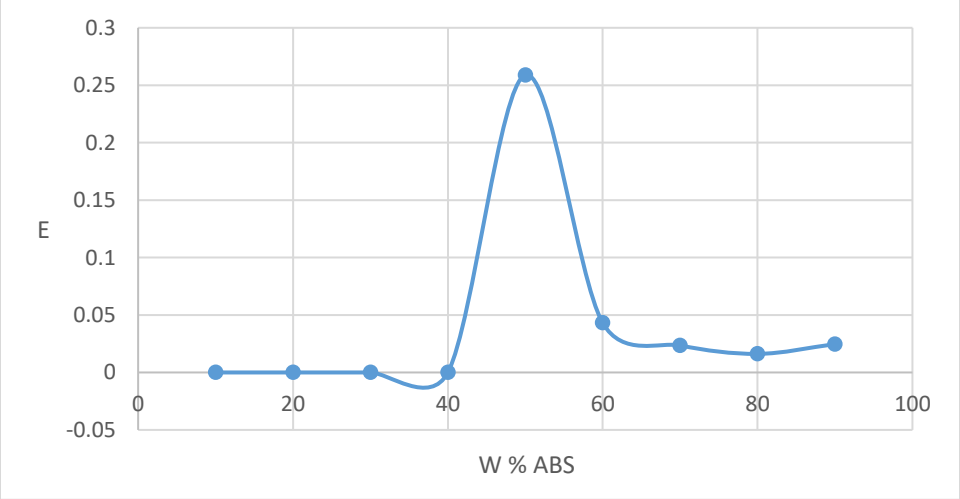
الشكل (15) تحولات الإجهاد عند القطع بدلالة تركيب المزيج PLA/ABS (50/50)

يظهر كل من الشكلين (14,15) أن الإجهاد عند القطع للمزيج يزداد مع ازدياد نسبة ABS في المزيج، أي أن الإجهاد عند القطع في هذا المزيج كان منخفض في البداية ثم عاد للارتفاع، ونلاحظ أيضاً أنّ أعلى نسبة للإجهاد عند القطع في الشكل (14) كانت (0.0009) في حين الشكل (15) كانت أعلى قيمة للإجهاد عند القطع (0.0035).

ويبين كل من الشكلين (16,17) تحولات معامل يونغ بدلالة تركيب المزيج (PLA/ABS):



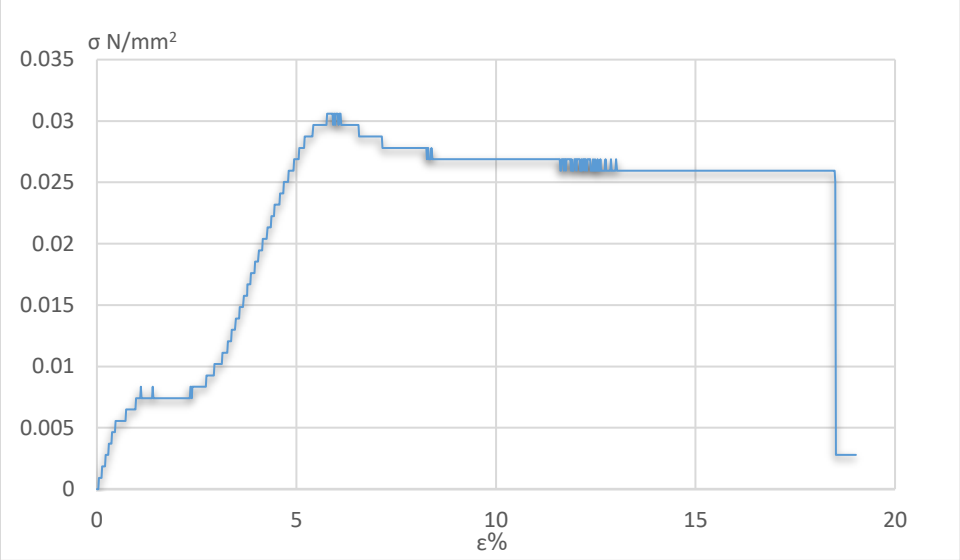
الشكل (16) تحولات معامل يونغ بدلالة تركيب المزيج PLA/ABS (10/90)



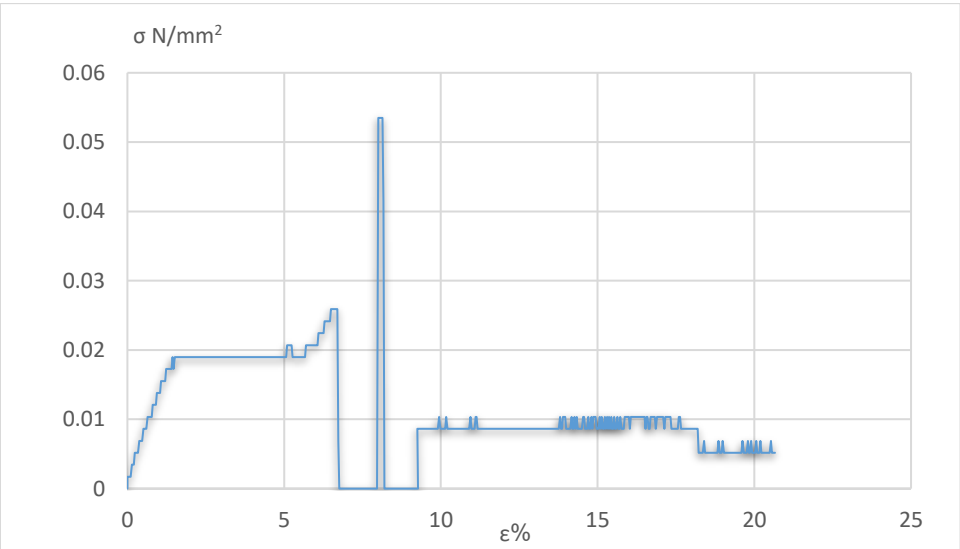
الشكل (17) تحولات معامل يونغ بدلالة تركيب المزيج PLA/ABS (50/50)

يظهر كل من الشكلين (16,17) أن معامل يونغ للمزيج يكون منخفض ثم يبدأ بالارتفاع مع زيادة نسبة ABS.

سنقوم برسم المنحني الإجهاد _ الانفعال للمزيج PLA/ABS:



الشكل (18): تحولات اجهاد _ انفعال للمزيج PLA/ABS (10/90)



الشكل (19): تحولات اجهاد _ انفعال للمزيج PLA/ABS (50/50)

وتفيد هذه المنحنيات باعطاء معلومات مفيدة عن الخصائص المتعلقة بقوة ومرونة ومتانه البوليمر وأقصى جهد يتحملة البوليمر وأقصى استطالة تحدث في النموذج كما هو مبين بالشكل فإن الجزء المستقيم من المنحني يعبر عن مرونة البوليمر وهو النسبة بين الاجهاد والاستطالة، وعند ازالة الاجهاد تسترجع أبعادها الاصلية لأن الطاقة المصروفة تكون مخزونة بشكل طاقة مرنة وبعد هذه الطاقة إما يتمزق النموذج وبهذه الحالة يكون البوليمر هشاً أو يوهن عند نقطة معينة في النموذج.

وأعلى جهد يتحمله النموذج قبل أن يوهن يدعى قوة الشد، وتمثل نقطة الوهن نهاية السلوك المرن في البوليمر وبعدها تكون التغيرات في البوليمر غير عكوسة أي لا يمكنها استرجاع شكلها السابق وتبقى مشوهة لأن الطاقة المصروفة هنا تستهلك في فك التشابك الفيزيائي بين سلاسل البوليمر، وبعدها نصل إلى مرحلة تمزق النموذج. حيث كانت أعلى قوة شد يتحملها المزيج (PLA/ABS) بنسبة (10/90) هي (F_{max} =0.33 kN) ونقطة الوهن تساوي (σ_{max}=30.593)، بينما تكون أعلى قوة شد في المزيج (PLA/ABS) بنسبة (50/50) هي (F_{max} =0.15kN) ونقطة الوهن تساوي (σ_{max}=25.882).

الاستنتاجات:

- ❖ دُرست الخواص الريولوجية للمزيج المحضر في الحالة المنصهرة تحت تأثير درجات الحرارة وإجهادات القص العالية. وتبين لدينا أن هذه المزيج ينتمي إلى المواد الشبيهة بالبلاستيك.
- ❖ اللزوجة الحقيقية تنخفض مع ارتفاع إجهاد القص ومعدلات سرعة القص العالية.
- ❖ عُينت قيم دليل الجريان n للمزيج المدروس، وتبين لدينا من خلال الدراسة أن المزيج المدروس من فصيلة اللدائن الشبية بالبلاستيك ($n<1$).
- ❖ تنخفض قيمة دليل الجريان n مع ارتفاع معدل سرعة القص.
- ❖ يزداد الاجهاد عند القطع بزيادة نسبة ABS في المزيج.
- ❖ ينخفض معامل يونغ بزيادة نسبة ABS في المزيج.
- ❖ كانت أعلى قوة شد يتحملها المزيج (PLA/ABS) بنسبة (10/90) هي (F_{max} =0.33 kN) ونقطة الوهن تساوي (σ_{max}=30.593)، بينما تكون أعلى قوة شد في المزيج (PLA/ABS) بنسبة (50/50) هي (F_{max} =0.15kN) ونقطة الوهن تساوي (σ_{max}=25.882).
- ❖ أفضل مزيج من الناحية الميكانيكية هو المزيج PLA/ABS (10/90) حيث أنّ ABS يتمتع بقوة شد أفضل من PLA.

المراجع:

1. Wnuczek, K., Puszka, A., Klapiszewski, Ł., & Podkościelna, B. (2021). Preparation, Thermal, and Thermo-Mechanical Characterization of Polymeric Blends Based on Di (meth) acrylate Monomers. *Polymers*, *13*(6), 878.
2. Freed, K, F.(2005) Phase Behavior of Polymer Blend, Springer-Verilog Berlin Heidelberg. 183 ,1.
3. Grum, O. Buckie, P and Buek, B.(1997) Principles of Polymer Engineering. 2nd Edition, Oxford.
4. Gu, L., Nessim, E. E., Li, T., & Macosko, C. W. (2018). Toughening poly (lactic acid) with poly (ethylene oxide)-poly (propylene oxide)-poly (ethylene oxide) triblock copolymers. Polymer, 156, 261-269.
5. Weber CJ., Haugaard V., Festersen R., Bertelsen G. (2002). Production and applications of biobased packaging materials for the food industry. Food Addit Contam 19:172–177.
6. Siebott., V. (2007). PLA—the future of rigid packaging. Bioplastics Mag 2:28–9.
7. Auras R., Harte B., Selke S. (2004). An overview of polylactides as packaging materials. Macromol Biosci 4:835–864.
8. Garlotta D., (2001). A literature review of poly(lactic acid). *J Polym Environ* 9:63–84.
9. Hamod, H. (2015). Suitability of recycled HDPE for 3D printing filament.
10. Rutkowski, J. V., & Levin, B. C. (1986). Acrylonitrile–butadiene–styrene copolymers (ABS): Pyrolysis and combustion products and their toxicity—a review of the literature. Fire and materials, 10(3-4), 93-105.
11. Hamad, K., Kaseem, M., & Deri, F. (2011). Rheological and mechanical characterization of poly(lactic acid)/polypropylene polymer blends. Asia-Pacific Journal of ORIGINAL PAPER, J Polym Res 18, 1799-1806.
12. Déri, F., Aldeyab, S., & Majid, B. (1989).Correlation Pratique et Mathématique de l'Énergie d Activation de l' Écoulement pour le Polyéthylène Basse-Densité, Polyéthylène Haute-Densité, Polystyrène et d'Autres Polyoléfines. Die Angewandte Makromolekulare Chemie (173) 1-13 (Nr. 2581).
13. Sinthavathavorn W., Nithitanakul M., et al.(2008). Melt Rheology of Low-Density Polyethylene/Polyamide 6 using Ionomer as a Compatibilizer, Polymer Bulletin, pp 331-340.
14. Sheng Chen C (2008). Rheological behaviour of low/high density polyethylene melt flowing through micro-channels. e-Polymers.
15. Al-Kaseem M., Hamad K., Deri F (2010). Rheological and mechanical properties of poly (Lactic Acid)/Polysteryrene polymer blend. Polymer Bulletin, Vol.65, pp 509-519.
16. Sinthavathavorn W., Nithitanakul M., et al (2009). Melt rheology and die swell of PA6/LDPE blends by using lithium ionomer as a compatibilizer, Polymer Bulletin, pp 23-35.
17. Bagley, E. B (1957). End corrections in the capillary Flow. Of polyethylene, J. Appl, Phys., V. 28, p. 624-627.
18. Milisavljević , J., Petrović, E., Ćirić, I., Mančić, M., Marković, D., Dordević, M., 2012, Tensile Testing For Different Types Of Polymer, Danubia-Adria Symposium, University Of Belgrade, Serbia.
19. Kim, M., Lee, S., Kang, J., and Bae, K., 2005, Preparations Of Polypropylene Membrane With High Porosity In Supercritical CO2 and Its Application For Pemfc, j. ind. Eng. Chem., vol.11,no. 2,187-193.