

دراسة آثار درجات الحرارة وإجهادات القص على سلوك جريان البولي بوتاديين – ستيارين أكريل نتريل (ABS) في الحالة المنصهرة

فواز الديري⁽¹⁾ و باسل إبراهيم⁽²⁾

تاريخ الإيداع 2013/04/16

قبل للنشر في 2013/11/20

المخلص

أجريت الدراسة على البولي بوتاديين – ستيارين أكريل نتريل في الحالة المنصهرة تحت تأثير درجات الحرارة وإجهاد القص وسرعة قص مختلفة، وذلك باستخدام مقياس اللزوجة ذي القالب الشعري، وأجريت التصحيحات الضرورية للمعطيات التجريبية. ومن خلال هذه المعطيات وجد أن اللزوجة الحقيقية h_c تنخفض مع ازدياد إجهاد القص وسرعة القص. كما تبين أن المادة المدروسة من فصيلة اللدائن الشبيهة بالبلاستيك إذ إن $(n < 1)$.

درست تحولات اللزوجة الحقيقية بدلالة مقلوب درجة الحرارة لتعيين طاقة تنشيط الجريان عند إجهاد قص ثابت وسرعة قص ثابتة. ومن خلال المعطيات تبين أن طاقة تنشيط الجريان عند إجهاد قص ثابت أكبر مما هي عليه عند سرعة قص ثابتة، إذ تعبر طاقة تنشيط الجريان عن مدى حساسية لزوجة البوليمر تجاه تغير درجة الحرارة.

درست مرونة المادة المدروسة باستخدام تقانة باروس (Barus)، وتبين أن معدل الانتفاخ B يزداد بارتفاع إجهاد القص وينخفض بارتفاع مقدار L/R وليس لدرجات الحرارة تأثير ملحوظ في معامل الانتفاخ B .

الكلمات المفتاحية: بوليمر ABS، الخواص الريولوجية، الحالة المنصهرة.

(1) أستاذ، (2) أستاذ مساعد، قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة دمشق، سورية.

Study of temperature and shear stress effects on the flow behavior of (ABS) melt

F. Al-Deri⁽¹⁾ and B. Ibrahim⁽²⁾

Received 16/04/2013

Accepted 20/11/2013

ABSTRACT

The rheological behaviour in the molten state of Acrylo nitril– Butadine – Styrene (ABS) according to temperature, shearing stress and shearing rate have been studied. Measurements were made with a capillary viscosimeter for the static properties. The correction of experimental data has been carried out. Viscosity decreases with increasing shear stress or shear rate in the non-newtonian flow high polymer systems. However, the variation of activation energy with temperature at fixed shear rate is always less than at fixed shear stress.

Key words: (ABS) polymer, Rheological behaviour, Molten state.

⁽¹⁾ Prof., ⁽²⁾ Associate Prof., Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria.

المقدمة

إن حسن اختيار المنتجات البلاستيكية المستخدمة في مجال التعبئة والتغليف وتجهيزات أخرى متنوعة يرتبط بالثبات الكيميائي والفيزيائي والريولوجي، وبعبارة أخرى أن تتمتع السلع المصنعة منها بالمتانة والمقاومة عند تعرضها لمختلف القوى المؤثرة كالقوى الستاتيكية والديناميكية لأهميتها الاقتصادية.

تمر معظم عمليات التشكيل الصناعية لمواد البلاستيك الحراري في الحالة المنصهرة في أثناء البثق والنفخ والسحب والقولبة بالحقن، ونظراً إلى اعتماد أغلبية البوليمرات على لزوجة مصهوراتها عند درجات الحرارة المختلفة، لذا ينظر إلى قرينة السيولة بعظيم من الأهمية من الوجهة البنيوية والتصنيعية عند اختيار عملية تشكيل معينة (Lenk, R. S., 1978; Brydson, J. A. 1981).

تتمثل حالة السيولة لبوليمر ما بصهره وتشكيله شكلاً مناسباً، إما على هيئة قالب أو تشكيله وفق طبيعة ونماذج السلع المراد تشكيلها خلال مدة زمنية معينة (Walters, K. 1975; Maxwell, B., 1979).

من هنا أتت الحاجة لدراسة البوليمر المشترك (ABS) في حالته المنصهرة لمعرفة خصوصية البوليمر التصنيعية تحت تأثير درجات الحرارة وإجهادات القص المتنوعة.

أهداف البحث

دراسة السلوك الريولوجي لبوليمر (ABS) باستخدام مقياس اللزوجة ذي القناة الشعرية.

مواد البحث وطرقه

بوليمر مشترك بوتاديين - ستيارين أكريل نتريل (ABS) المستورد لإحدى شركات القطاع الخاص السورية، بهدف تحويله بواسطة تقانة الحقن والتفريغ إلى سلع متنوعة. ويبيّن الجدول (1) بعض الخواص الفيزيائية للبوليمر المشترك (ABS):

الجدول (1) الخواص الفيزيائية للبولي بوتاديين - ستيارين أكريل نتريل

MFI (g/10min) [10 kg]	\bar{M}_v	الكثافة (g/cm ³)	الخواص المادة
10.2	43600	0.987	ABS

\bar{M}_v : متوسط الوزن الجزيئي للزوجة. MFI: قرينة سيولة المصهور عند درجة حرارة (210°C) وحمولة 10 كغ.

1- شروط العمل

أجريت الدراسة عند درجات الحرارة: (210, 215, 220, 225, 230, 235, 240, 245)°C وتحت تأثير إجهادات القص الآتية: (1,31.10⁴; 2,1.10⁴; 4,1.10⁴; 6,2.10⁴; 1,71.10⁵ dynes/cm² 10⁵);

2- التقانة المستخدمة في الدراسة

أجريت الدراسة باستخدام مقياس اللزوجة ذي القالب الشعري المعدني (Deri, F., et al., 1989)، وذلك باستعمال أربعة قوالب معدنية أبعادها (الجدول 2).

الجدول (2) أبعاد القوالب الشعرية المستعملة

4	3	2	1	القالب
26	20	14	8	L (mm)
2	2	2	2	D (mm)
26	20	14	8	L/R

تصحيح المعطيات التجريبية

1- هبوط الضغط نتيجة فقدان الطاقة الحركية

في أثناء جريان المادة المنصهرة داخل القناة الشعرية تفقد جزءاً من طاقتها الحركية؛ مما يسبب تسارعاً إضافياً للمادة تحت القص، ويؤدي إلى انخفاض طفيف في الضغط وفق العلاقة الآتية: (Deri, F., et al., 1989; Deri, F., 1985; J. L. Leblanc, 1974):

$$\Delta P_C = \Delta P_a - \frac{r \cdot V^2}{a} \quad (1)$$

$$\Delta P_C = \Delta P_a - \frac{r \cdot Q^2}{a \cdot p^2 \cdot R^4}$$

$$a = \frac{(4n + 2)(5n + 3)}{3(3n + 1)} \quad \text{علمياً بأن:}$$

إذ إن: P_C - الضغط المُطبق الحقيقي (Pa).

ρ - كثافة المادة (g/cm^3).

α - ثابت يتعلق بدليل الجريان.

R - نصف قطر القناة الشعرية (cm).

P_a - الضغط المُطبق الظاهري (Pa).

V - السرعة الوسطية (cm/sec).

Q - غزارة التصريف (cm^3/sec).

n - دليل الجريان.

ومن المعطيات التجريبية وجدنا أن مقدار الفاقد في الضغط الذي قمنا بحسابه ضئيل وقدّر بأقل من 1.1 % من قيمة الضغط الكلي المُطبق.

2- هبوط الضغط في الأسطوانة الداخلية لمقياس اللزوجة

يسبب هبوط الضغط في الأسطوانة الداخلية انخفاضاً في قيمة الضغط المُطبق، وقد قمنا بتعيين مقدار الانخفاض وفق العلاقة الآتية (Leblanc J. L., 1974):

$$\Delta P_F \% = \frac{1}{1 + \frac{1}{\frac{L_F}{L_C} \left(\frac{R_C}{R_F} \right)^{3n+1}}} \cdot 100 \quad (2)$$

إذ إن: L_C - طول القناة الشعرية.

R_C - نصف قطر القناة الشعرية.

L_F - طول الجزء الفعال من الأسطوانة الداخلية لمقياس اللزوجة.

ΔP_F - هبوط الضغط في الأسطوانة الداخلية لمقياس اللزوجة.

R_F - نصف قطر الأسطوانة الداخلية في مقياس اللزوجة.

n - دليل الجريان.

وقد دلت الحسابات على أن انخفاض الضغط 6.4 % من الضغط المُطبق.

3- تصحيح باكلي (e) وإجهاد القص الحقيقي τ_c

نظراً إلى تراص الجزيئات المجتمعة عند مدخل القناة الشعرية فإن ذلك يسبب اضطراباً في حركة الجريان، ومن ثم يؤدي إلى انخفاض في قيمة الضغط المُطبق، ولحساب الضغط المفقود قمنا باستخدام مجموعة من القوالب الشعرية ذات أقطار متساوية وأطوال مختلفة، (الجدول 2).

ووفقاً لطريقة باكلي (Bagley, E. B., 1961; Bagley, E. B., 1957)، قمنا بتحديد معامل التصحيح (e) وذلك من الرسم البياني للضغط P_c بدلالة النسبة L/R عند قيم معينة لسرعة القص ولكل درجة من درجات حرارة القياس التجريبية. يبين الشكل (1) تحولات الضغط الحقيقي P_c بدلالة النسبة L/R للمادة المدروسة عند درجة الحرارة (220°C). إذ حُسب إجهاد القص الحقيقي وفق العلاقة الآتية:

$$t_c = \frac{P_c}{2\left(\frac{L}{R} + e\right)} \quad (3)$$

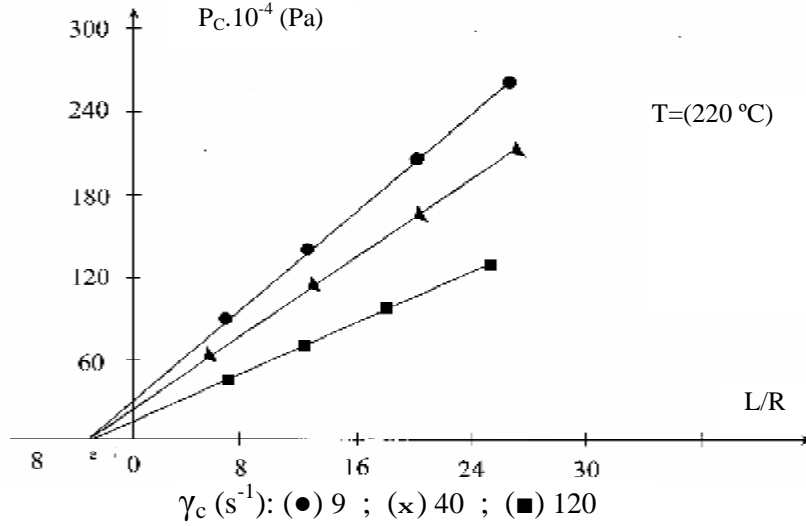
إذ إن: τ_c - إجهاد القص الحقيقي (True shear stress) (Pa).

R - نصف قطر القناة الشعرية (cm).

e - معامل تصحيح باكلي

P_c - الضغط الحقيقي داخل قناة القالب الشعري (Pa).

L - طول القناة الشعرية (cm).



الشكل (1) مستقيمات باكلي - علاقة الضغط بدلالة L/R

4- تصحيح رابينوفيش وسرعة القص الحقيقية g_c
تُعيّن سرعة القص الحقيقية وفق العلاقة الآتية:

$$g_c = \frac{(3n+1)}{4n} \cdot g_a \quad (4)$$

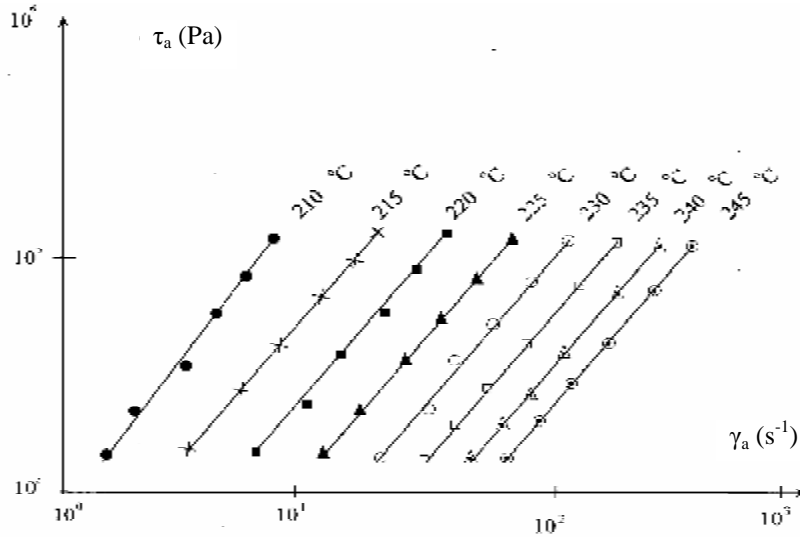
إذ إن: g_a - سرعة القص الظاهري (sec^{-1}). ويسمى المقدار $\frac{(3n+1)}{4n}$ بتصحيح

رابينوفيش (Mooney, M., 1931; Rabinowitsch, B., 1929)، ويمكننا عندئذٍ حساب سرعة القص الحقيقي γ_c للمادة المدروسة.

النتائج والمناقشة

الترسيم البياني للجريان

قمنا وفقاً للمعطيات التجريبية لكل من إجهاد القص الظاهري τ_a وسرعة القص الظاهرية γ_a برسم تحويلات إجهاد القص الظاهرية بدلالة سرعة القص الظاهري عند درجات الحرارة $210, 215, 220, 225, 230, 235, 240, 245^\circ C$ ، ويمثل الشكل (2) منحنى الجريان للمادة المدروسة.



الشكل (2) تحولات إجهاد القص الظاهري τ_a بدلالة سرعة القص الظاهري γ_a

يُفيد هذا الشكل في تحديد سلوك الجريان للمادة المدروسة، وهل تتبع هذه السلوكية سلوك جريان سائل نيوتن أو السائل الشبيه بالبلاستيك أو السائل شديد التمديد. وقد عُيِّن دليل الجريان n عند درجات الحرارة المدروسة وفق العلاقة الآتية:

$$n = \frac{d(\log t_a)}{d(\log g_a)} \quad (5)$$

وبيّن الجدول (3) قيم دليل الجريان n للمادة المدروسة:

الجدول (3) قيم دليل الجريان n عند درجات الحرارة المُطبقة

245	240	235	230	225	220	215	210	درجة الحرارة (°C)
0.72	0.71	0.72	0.73	0.73	0.72	0.72	0.82	دليل الجريان لـ ABS

تظهر قيمة n عند درجات حرارة معينة وإجهادات القص المُطبقة أنها أقل من الواحد ($n < 1$)، وهو ما يثبت أن المادة المدروسة عند الشروط المُطبقة هي من فصيلة المواد الشبيهة بالبلاستيك (Genillon, R., 1980; Deri, F., et al., 1976; Cogswell, F. N., 1981).

دراسة الخواص اللزجة لـ ABS

قمنا بدراسة خواص اللزوجة من خلال تعيين سرعة القص الظاهرية γ_a وإجهاد القص الظاهري τ_a واللزوجة الظاهرية η_a ، وقد عُيِّنت سرعة القص الظاهرية وفق العلاقة الآتية (Deri, F., Genillon, R., 1985):

$$g_a = \frac{4 \cdot Q}{p \cdot R^3} \quad (6)$$

إذ إن: γ_a - سرعة القص الظاهرية (sec^{-1}).

Q - سرعة التدفق (cm^3/sec).

R - نصف قطر القناة الشعرية المستخدم (cm).

يُعيّن إجهاد القص الظاهري وفق العلاقة الآتية (Deri, F., Genillon, R., 1985):

$$t_a = \frac{P \cdot R}{2 \cdot L} \quad (7)$$

إذ إن: τ_a - إجهاد القص الظاهري (Pa).

P - الضغط المُطبق (Pa).

R - نصف قطر القناة الشعرية المستخدم (cm).

L - طول القناة الشعرية المستخدمة (cm).

يُعيّن الضغط المُطبق وفق العلاقة الآتية (Deri, F., Genillon, R., 1985):

$$P = \frac{G \cdot 981}{p \cdot R_d^2} \quad (8)$$

إذ إن: R_d - نصف قطر قالب المكبس ويساوي (0.45 cm).

G - الثقل المُطبق على المكبس (g).

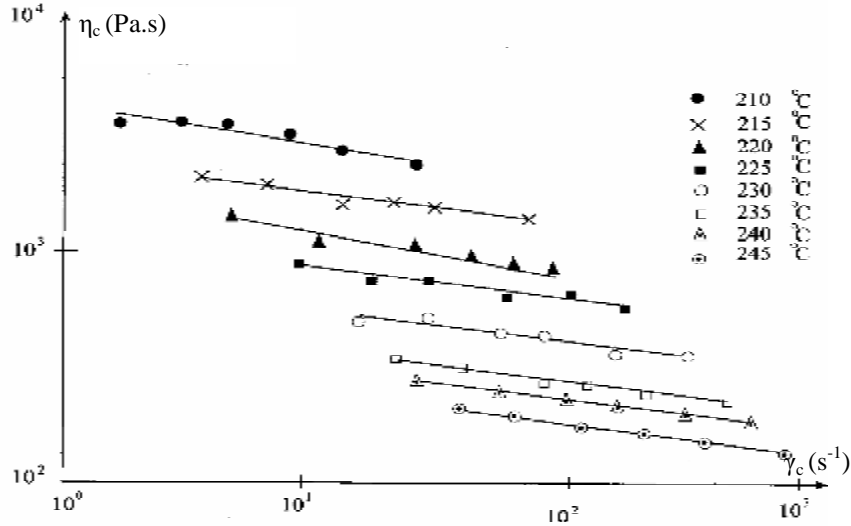
اللزوجة الحقيقية (True Viscosity)

بعد أن حُسب إجهاد القص الحقيقي τ_c وسرعة القص الحقيقية γ_c أصبح بالإمكان

تعيين اللزوجة الحقيقية η_c وفقاً للعلاقة الآتية (Deri, F., Genillon, R., 1985):

$$h_c = \frac{t_c}{g_c} \quad (9)$$

يبين الشكل (3) تحولات اللزوجة الحقيقية η_c بدلالة سرعة القص الحقيقية γ_c تبين لنا من هذا الشكل أن اللزوجة الحقيقية تنخفض مع ازدياد سرعة القص، وهذا ما يميز سلوك المواد الشبيهة بالبلاستيك وأن الخطوط البيانية تتقارب في نهاياتها عند القيم المرتفعة لسرعة القص، بمعنى أن قفزات قطاعات السلسلة البوليمرية تزداد في أثناء الجريان ولاسيما عند زيادة إجهادات القص المُطبقة (Montfort, J. P., et al., 1978):



الشكل (3) تحولات اللزوجة الحقيقية h_c بدلالة سرعة القص الحقيقية g_c

طاقة تنشيط الجريان

قمنا بدراسة تحولات اللزوجة بدلالة مقلوب درجة الحرارة المطلقة تحت تأثير إجهاد قص ثابت وسرعة قص ثابتة وذلك بالاعتماد على علاقة أرينوس (Arrhenius):
(Deri, F., *et al.*, 1989; Genillon, R., Deri, F., 1977; Deri, F., 1978; Verr, V., *et al.*, 1981; Muliawan, E. B., Hatzikiriakos, S. G., 2007)

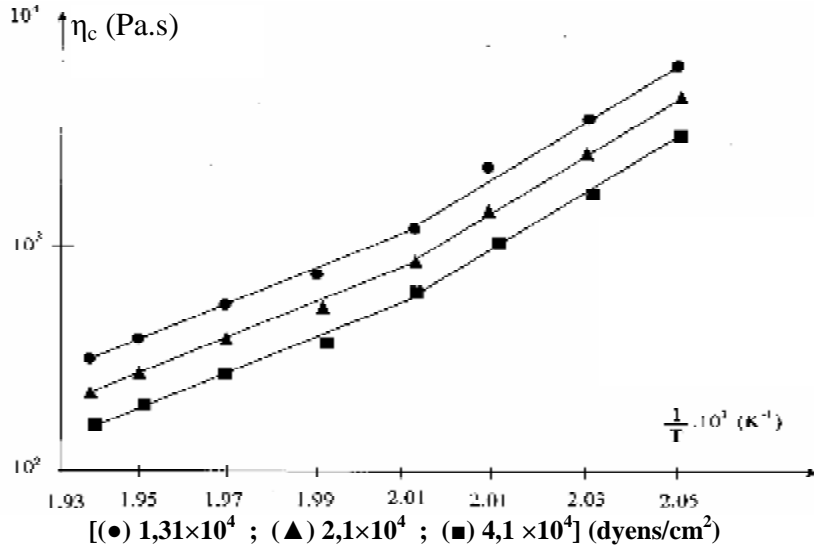
$$h_c = A \cdot e^{\frac{E_t}{R \cdot T}}$$

$$h_c = A \cdot e^{\frac{E_g}{R \cdot T}} \quad (10)$$

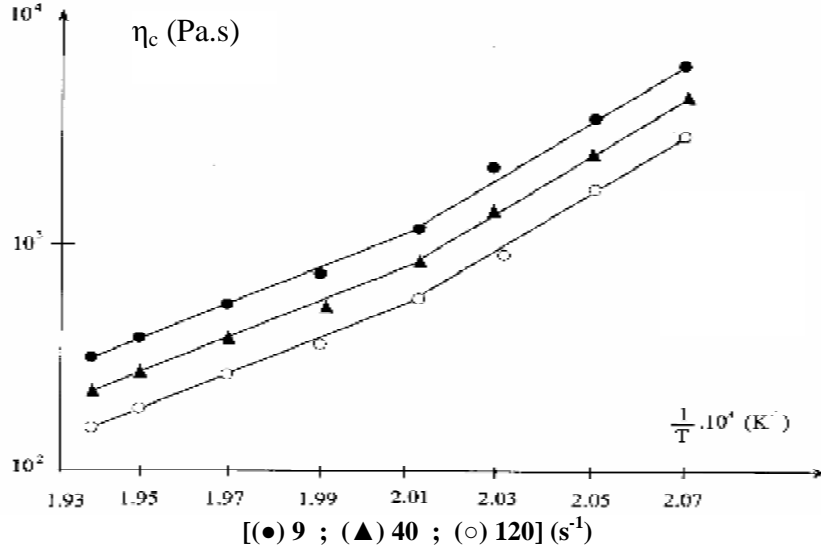
$$\ln h_c = \ln A + \frac{E}{R \cdot T}$$

إذ إن: $E\tau_c$ - طاقة تنشيط الجريان اللزج عند إجهاد قص ثابت (J/mol).
 $E\gamma_c$ - طاقة تنشيط الجريان اللزج عند سرعة قص ثابتة (J/mol).
 R - ثابت الغازات العام ($R=8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).
 T - درجة الحرارة المطلقة (°K).
 A - ثابت.
 η_c - اللزوجة الحقيقية (Pa.s).

يمثل الشكلان (4) و(5) تحويلات اللزوجة الحقيقية بدلالة مقلوب درجة الحرارة المطلقة للمادة المدروسة تحت تأثير إجهاد قص ثابت وسرعة قص ثابتة:



الشكل (4) تحويلات اللزوجة بدلالة مقلوب درجة الحرارة تحت تأثير إجهادات قص ثابتة



الشكل (5) تحويلات اللزوجة بدلالة مقلوب درجة الحرارة تحت تأثير سرعات قص ثابتة

وهو ما يسمح بتعيين طاقة تنشيط الجريان عند إجهاد قص ثابت وسرعة قص ثابتة. ويحوي الجدول (4) قيم طاقة التنشيط عند إجهاد قص ثابت وسرعة قص ثابتة للمادة المدروسة.

الجدول (4) قيم طاقة تنشيط الجريان E_τ و E_γ (K.J/mol)

τ_c (Dynes/cm ²)	1.31×10^4	2.1×10^4	4.1×10^4	6.2×10^4
$E\tau_c$ (K.J/mol)	192.28	183.92	175.56	200.64
γ_c (s ⁻¹)	9	40	120	-
$E\gamma_c$ (K.J/mol)	167.2	154.66	146.3	-

تعبّر طاقة تنشيط الجريان اللزج على مدى حساسية لزوجة المادة تجاه تغيّر درجة الحرارة، فكلما كانت قيمة طاقة تنشيط الجريان اللزج أكبر زادت حساسية لزوجة المادة نحو تغيّر درجة الحرارة والعكس صحيح.

نلاحظ من الجدول (4) أن طاقة التنشيط الجريان تتخفض بارتفاع إجهاد القص وتتنخفض أيضاً بارتفاع سرعة القص. وأن طاقة التنشيط عند إجهاد قص ثابت أكبر منها نسبياً عند سرعة قص ثابتة، ويعود ذلك إلى أن تغيّر اللزوجة أقل تأثراً عند سرعات القص γ مما هو عليه عند إجهادات القص τ ولاسيما العالية منها (Jaziri, M., 1992; Liorens, J., et al., 2003).

دراسة المرونة

قمنا بدراسة مرونة المادة المدروسة باستخدام تقانة باروس، وذلك بقياس قطر المادة بعد خروجها من قناة القالب الشعري (Genillon, R., Deri, F., 1977):

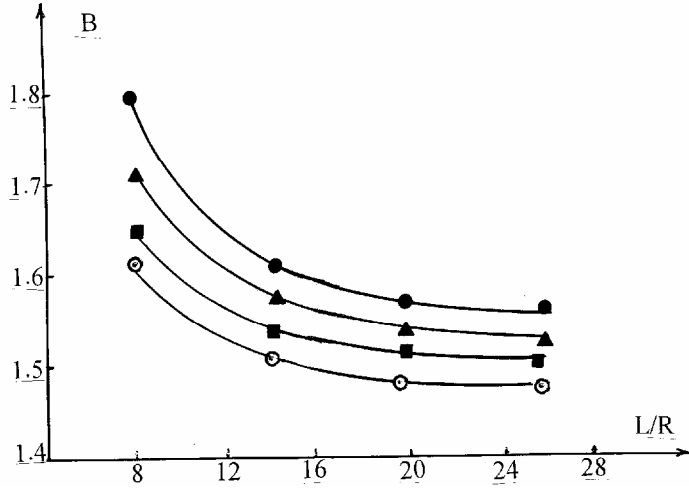
$$B = \frac{D}{D_0} \quad (11)$$

إذ إن: B - معامل باروس.

D_0 - قطر القناة الشعرية ويساوي (0,2 cm).

D - قطر المادة المبتوقة من قناة القالب الشعري (cm).

ويبين الشكل (6) تحولات B بدلالة L/R عند درجة الحرارة 230°C :



$\tau_c(\text{dynes/cm}^2)$: (•) $1,31 \times 10^4$; (■) $2,1 \times 10^4$; (▲) $4,1 \times 10^4$; (◊) $1,71 \times 10^4$
الشكل (6) تحولات الانتفاخ B بدلالة L/R

يمكن أن نلاحظ من الشكل (6) أن معدل الانتفاخ B ينخفض ثم يصبح أكثر استقراراً بازدياد النسبة L/R، بمعنى أنه عند ازدياد طول قناة القالب فإنه يحدث استرخاء للجهد بشكل أكبر مما يؤدي إلى انخفاض الإجهادات المتبقية في الصهارة عند مغادرتها فتحة القناة الشعرية، ومن ثم إلى انخفاض في معدل الانتفاخ B، بذلك تصبح طاقة التشوه للمرونة أكثر ثباتاً كلما كان طول القناة الشعرية أكثر امتداداً، وبالعكس فإنه كلما كان طول القناة الشعرية أقل امتداداً فإن الطاقة المنتشرة في الجريانات الثانوية تظهر على شكل حرارة.

ومن مقارنة قيم دليل الجريان n الناتجة عن $\frac{E_r}{E_\gamma} = \frac{1}{n}$ والواردة في الجدول (5) مع القيم الناتجة عن الترسيم البياني للجريان، الجدول (3)، نجد أن نسبة الخطأ تقع ضمن خطأ القياس التجريبي الذي يعادل بمقدار 2,5%.

الجدول (5) قيم $\frac{E_r}{E_\gamma} = \frac{1}{n}$

$\frac{E_r}{E_\gamma} = \frac{1}{n}$	0.85	0.84	0.82
--------------------------------------	------	------	------

إذا بإمكاننا الحصول على قيم دليل الجريان بمجرد تعيين طاقة تنشيط الجريان تحت تأثير إجهاد قص ثابت سرعة قص ثابتة. يشير هذا المقدار إلى معدل انحراف الجريان عن قانون نيوتن $n=1$ وعن مدى تغير اللزوجة بتغير سرعة القص. إذ نجد أنه كلما صغرت n كان تغير اللزوجة أكبر ما يمكن، فضلاً عما سبق يفيد دليل الجريان بتحديد نوع الجريان وشكله، وتعيين سرعة القص الحقيقية g_c كما في العلاقة (4)، ومن خلال تغيرات طاقة التنشيط نجد أن طاقة التنشيط هي الحد الأدنى للطاقة لتتحول المادة من حالة إلى أخرى وهي نتيجة لاهتزاز الروابط فمن الممكن أن يكون هذا الاهتزاز أكبر عند تطبيق إجهاد القص مما هو عليه عند تطبيق سرعة القص، مما يعززه قيم طاقة تنشيط الجريان الأكبر عند إجهاد قص ثابت مما هو عليه قيم طاقة تنشيط الجريان عند سرعة قص ثابتة (Fery, H., et al, 1995; Ninge, L., et al., 1996; Teo, L. S., et al. 1997).

الاستنتاجات

- 1- تنخفض اللزوجة الحقيقية h_c مع ازدياد سرعة القص الحقيقية g_c وهذا ما يميز سلوك المواد الشبيهة بالبلاستيك.
- 2- تظهر قيمة n عند درجات حرارة معينة وإجهادات قص مطبقة أنها أقل من الواحد ($n < 1$)، وهو ما يثبت أن المادة المدروسة من فصيلة المواد الشبيهة بالبلاستيك.
- 3- درست تحولات اللزوجة بدلالة مقلوب درجة الحرارة المطلقة لتعيين طاقة تنشيط الجريان بالاعتماد على علاقة أرينوس، إذ تعبر طاقة التنشيط عن مدى حساسية لزوجة المادة المدروسة تجاه تغير درجة الحرارة، إذ كلما كانت قيمة طاقة التنشيط أكبر زادت الحساسية والعكس صحيح.
- 4- درست مرونة المادة باستخدام تقانة باروس وتبين أن معدل الانتفاخ B ينخفض ثم يصبح أكثر استقراراً بازدياد النسبة L/R ، في حين يزداد معدل الانتفاخ بصورة واضحة عندما تكون الحمولات المطبقة كبيرة، وذلك لأن سلاسل المادة تبذل جهداً أكبر لمقاومة القوى الخارجية.
- 5- إمكانية التنبؤ المسبق لظروف عمليات التشكيل بطريقة البثق والحقن.

REFERENCES المراجع

- Bagley, E. B., 1957. End corrections in the capillary Flow. Of polyethylene, J. Appl. Phys., V. 28, p. 624.
- Bagley, E. B., 1961. Energy of Activation For viscous Flow. Trans. Soc. Rheol., V. 5, p. 355.
- Brydson, J. A., 1981. Flow properties of polymer melts, 2nd edition, Godwin.
- Cogswell, F. N., 1981. Polymer Melt rheology. London. John Willey. 50p.
- Deri, F., Majid, B. Aldiab, F., 1989. Influence de la Temperature sur l'Écoulement des Polymères. Die Angewandte Makromolekular-chemie. V. 173, PP.1- 13 (Nr.2581).
- Deri, F., 1985. Etude des Propriétés rhéologiques de mélanges de Polypropylène-Polystyrène et de Polystyrène-Polyéthylène Basse-Densité. R. J. Of Aleppo Univ., No 7, PP. 59-78.
- Deri, F., Piloze, R. May, J. F. 1976. Etude des Propriétés rhéologiques de quelque mélanges Polybutène-1- Polypropylène Alétat fondu. Die Angewandte Makromolekular. chemie; V. 55, PP. 97-108. (Nr. 814).
- Deri, F., Genillon, R., 1985. Etude des Propriétés de mélanges de Polypropylène-Polystyrène et de Polystyrène-Polyéthylène Basse-Densité. Die Angewandte Makromolekular. chemie; V. 134 PP. 11-22 (Nr. 2092).
- Deri, F., 1978. Etude des Propriétés rhéologiques Alétat fondu de quelque mélanges binaires de Polyéthylène et de Polybutène-1. Thèse de université de pau - France, 120p.
- Feng, H., Shen, L., and Feng, Z., 1995. Eur. Poly. J., 31, 243.
- Genillon, R., 1980. Etude des Propriétés rhéologiques de mélanges de Polypropylène et de Polybutène-1. Alétat fondu Correlation avec leur Mise en oeuvre par Extrusion. Thèse Docteur. St. Etienne, 80p.
- Genillon, R., Deri, F., 1977. Etude des Propriétés rhéologiques de mélanges fondus de Polybutène-1 et de Polypropylène à des cisaillements élevés. Die Angewandte Makromolekular. chemie; V. 65, PP. 71-93 (Nr. 928).
- Jaziri, M., 1992. Etude du greffage Alétat fondu de l' anhydride maléique Sur l'abs. Influence du compose obtenu. Sur l' elabonor-ation et les Propriétés mélanges Polycarbonate/ABS. Thèse Soutenue le 20 vévrier.
- Leblanc, J. L., 1974. Rheologi experiment des polymers Alétat fondu CeBeDoc, Liege, p. 33.
- Lenk, R. S. 1978. Polymer rheology, Applied science.
- Liorens, J. Rude, E. Mancos, R. M. 2003. Production of polymol-ecular weight distribution from rheology polydimethylsiloxane blends, Polymer V. 44, pp. 1741-1750.
- Maxwell, B., 1979. Melt elasticity tester, Custom scientific instruments, Whippany, New Jersey.
- Mooney, 1931. Melt viscosity of Polyethylene. Rheology, V. 2, p.210.
- Muliawan, E. B. Hatzikiriakos, S. G. 2007. Rheology of mozzarella cheese, Interational Dairy Journal, V. 17, pp. 1063-1072.
- Ninge, L., De-Ning, W., and Sheng-Kang, Y., 1996. Polymer, 37, 3045.
- Rabinowitsch, B., 1929. End corrections in the capillary flow of polymers, Z. Phys. Chem. Abt. A. V. 145, p. 1.
- Teo, L. S., Chen, C. Y., and Kuo, J. F., 1997. Macromolecules, 30, 1793.
- Verry, V. Genillon, R. Niviere, J. May, J. F., 1981. Dynamic viscosity of various samples of Polypropene Polyvinylchloride. Rheol. Acta, V. 20, pp. 478-483.
- Walters, K., 1975. Rheometry, chapnan and Hall.