

دراسة سلوكية الشحم الليثيومي في الحالة الراكدة

منال الحموي وباسلة إبراهيم

قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة دمشق - سورية

تاريخ الإيداع 2012/04/23

قبل للنشر في 2012/11/05

الملخص

أجريت الدراسة الريولوجية على الشحم الليثيومي في الحالة المنصهرة تحت تأثير درجات الحرارة وإجهاد القص (τ) ومعدل سرعة القص ($\dot{\gamma}$)، وذلك باستخدام مقياس اللزوجة ذي القالب الشعري، ثم أجريت التصحيحات الضرورية للمعطيات التجريبية، ومن خلال هذه المعطيات تبين أن اللزوجة الحقيقية (η_c) تنخفض مع ازدياد معدل سرعة القص الحقيقية ($\dot{\gamma}_c$). كما تبين أن المادة المدروسة هي مادة شبيهة بالبلاستيك إذ إن $(n < 1)$.

عُيّنَت طاقة تنشيط الجريان ($E\tau$) عند إجهادات قص ثابتة من خلال دراسة تحولات اللزوجة الحقيقية (η_c) بدلالة مقلوب درجة الحرارة ($1/T$). تبين من خلال المعطيات أن طاقة تنشيط الجريان تزداد بازدياد قيم إجهادات القص إذ تعبر طاقة تنشيط الجريان عن مدى حساسية لزوجة الشحم الليثيومي تجاه تغيير درجة الحرارة.

عُيّن زمن مكوث (t_p) الشحم الليثيومي في القالب في أثناء الجريان، تبين أن الشحم ينتابه تشوه في أثناء جريانه لأن الصهارة لا تستطيع أن تحافظ على انسيابها في أثناء جريانها.

الكلمات المفتاحية: الخواص الريولوجية، الشحم الليثيومي، الحالة الراكدة.

Studying the flow behavior of lithium Lubricants in statical state

M. Al-Hamoui and B. Ibrahim

Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria

Received 23/04/2012

Accepted 05/11/2012

ABSTRACT

The study was carried out on the lithium Lubricants in the molten state under the effect of temperature, shear stress (τ), and shear rate ($\dot{\gamma}$) by using capillary viscometer, the corrections have been done to experimental data. It was found from the obtained results that, real viscosity η_c decreased with increasing real shear rate ($\dot{\gamma}_c$). Also it was found that the lithium Lubricants is a pseudoplastic material ($n < 1$).

For determining viscous activation energy at constant shear stress ($E\tau$), the relationship between real viscosity (η_c) and $(1/T)$ was studied. It was found that the viscous activation energy increased with increasing all of shear stress, where the value of viscous activation energy reflects the temperature-sensitivity of real viscosity.

The time residence (t_r) of lithium Lubricants in the die was determined, and it was found that Lubricant jittery deforms during flow, because the magma cannot maintain the flow of goods during the run at.

Key words: Rheological properties, Lithium Lubricants, Statical state.

المقدمة

تعدُّ شحوم التزليق بحسب الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد (ASTM) مادة صلبة أو مائعة (شبه سائلة) ناتجة عن مزج سائل تزليق معين مع عامل مغلظ (Thickening agent) مع مواد أخرى مضافة لتغيير خواص واستخدام الشحم (Hobson, G.d., et al., 1975).

تتكون عادة مواد التشحيم من زيت الأساس النفطي وهو مزيج من الفحوم الهيدروجينية مرتفعة الوزن الجزيئي ناتجة عن متبقيات التقطير الجوي، يشكل زيت الأساس 80-93% من وزن الشحم ويجب أن يكون هذا الزيت ذا لزوجة وكثافة معينة تسمح باستخدامه في صناعة الشحم فضلاً عن مجموعة من الإضافات لإضفاء صفات مرغوب فيها. مثل المغلطات [صابونية - غير صابونية] وهي مادة تتبعثر في زيت التزليق بشكل غروي، تحوي شحوم التزليق مادة مغلظة تراوح نسبتها 7-20% من وزن الشحم المصنع (Lubricant from Wikipedia) تكمن أهمية التزليق في تخفيض الاحتكاك والاهتراء والتغلب على الأوزان الثقيلة عند انزلاقها على سطح ثابت بوجود المادة الزالفة، ومن ثم فإن استخدام مواد التشحيم يقلل من الاحتكاك؛ مما يؤدي إلى خفض في توليد الحرارة فضلاً عن تحسين الكفاءة. (Hannelid, L., 2005; Johnson, U., 1956; Cottle, D. L., 1956). [الموسوعة العربية].

كما يضاف إلى الشحم بعض المواد (مواد مانعة للأكسدة والتآكل والصدأ وتحسين الأداء) بهدف تحسين خواصها وأدائها وتقليل الخواص غير المرغوب فيها (Bartels, T., et al., 2005; Sebenik, R. F., et al., 2005).

مع أن مواد التشحيم تستند عموماً إلى نوع واحد من الزيوت الأساسية، ولكن تستخدم أخلط من زيوت الأساس أيضاً لتلبية متطلبات الأداء (Lubricant, from Wikipedia).

تصنف شحوم التزليق اعتماداً على رقم الغرز (Grasshoff, H.D., 1976; Ships, N., 1999) واعتماداً على نوع المادة المغلظة (Hobson, G.d., et al., 1975)، أما خواص الشحوم ذات الأساس الصابوني فيعتمد على طبيعة المادة الدسمة (Hobson, G.d., et al., 1975). [الموسوعة العربية].

تعدُّ مواد التشحيم جيدة عندما تمتلك الخصائص الآتية (Lubricant from Wikipedia):

- نقطة غليان مرتفعة.
- نقطة تجميد منخفضة.
- ارتفاع مؤشر اللزوجة.
- الاستقرار الحراري.

• الوقاية من التآكل.

• مقاومة عالية للأكسدة.

من الناحية العملية، تعتني الريولوجيا أساساً بتغطية سلوك المواد وما يحدث لها من تشويه في أثناء عملية الجريان، إذ يمكن إيجاد قيم المتغيرات المؤثرة وخاصة اللزوجة الظاهرية فضلاً عن العوامل المؤثرة في الخواص الريولوجية (درجة الحرارة، الضغط، معدل القص) فأهمية دراسة الخواص الريولوجية تعد مطلباً أساسياً إذ يدرس تغيرات حالة المادة تحت تأثير عوامل خارجية في أثناء عملية الإنتاج الصناعية، كما تؤدي دوراً مهماً في إيجاد ظروف التشغيل المثلى (Rheology, From Wikipedia).

مواد البحث وطرائقه

شحم تزليق مستورد (صيني) ذو أساس ليثيومي المستخدم في أغراض التشحيم المتعددة يقع مجال عملها الحراري بين (-20 وحتى 120 درجة مئوية) مطابق للمواصفة القياسية السورية 791/2008 (NLGI-2).

شروط العمل

أجريت الدراسة عند درجات الحرارة: $15, 20, 25^{\circ}\text{C}$ وتحت تأثير الضغوط الآتية:
 $P_3 = (2,39.10^5 ; 3,12.10^5 ; 3,86.10^5)$ (باسكال)

الهدف من البحث

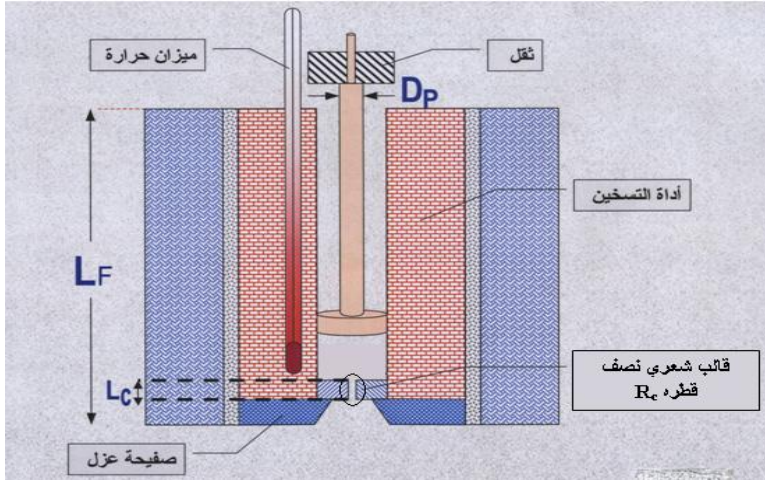
هدف هذا البحث إلى دراسة سلوكية الشحم الليثيومي في الحالة الراكدة من أجل الإفادة من هذه الخواص عند اصطناع الشحم محلياً.

التقانة المستخدمة في الدراسة

أجريت الدراسة الريولوجية باستخدام مقياس اللزوجة ذي القالب الشعري المعدني (Deri, F., et al., 1989)، كما في الشكل (1)، يتكون هذا الجهاز من أسطوانة قطرها 10 cm محاطة بسخانات وتحتوي في وسطها على فتحة دائرية بقطر 1.05 cm تشكل مستودع المصهور، كما يوجد بستون قطره 1 cm، ويزود الجهاز بحمولات مختلفة، وبقوالب شعرية بأقطار وأطوال مختلفة تثبت أسفل الأسطوانة، ودارة تحكم بدرجة الحرارة. استخدمت أربعة قوالب معدنية كما في الجدول (1):

الجدول (1) أبعاد القوالب الشعرية المستعملة

4	3	2	1	القالب
64	32	16	8	Lc (mm) طول القالب
2	2	2	2	D (mm) قطر القالب
64	32	16	8	Lc/Rc



الشكل (1) مقياس اللزوجة ذو القالب الشعري المعدني
إذ L_f ارتفاع الجهاز و D_p قطر البستون

عُيِّنَت غزارة تدفق المادة عبر القالب الشعري (Q) التي يحسب من خلالها معدل سرعة القص الظاهرية (γ_a) وفق العلاقة الآتية (Deri, F., et al., 1985):

$$g_a = \frac{4 \cdot Q}{p \cdot Rc^3} \quad (1)$$

إذ إن:

γ_a - معدل سرعة القص الظاهري (sec^{-1}).

Q - غزارة التصريف (cm^3/sec).

Rc - نصف قطر القالب الشعري المستخدم (cm).

يُعيَّن معدل سرعة القص الحقيقية γ_c للمادة المدروسة من خلال إجراء تصحيح رابينوفيتش (Rabinowitsch correction) (Sinthavathavorn, W., et al., 2008; 2009) وفقاً للمعادلة الآتية:

$$g_c = \frac{(3n+1)}{4n} \cdot g_a \quad (2)$$

إذ g_a : معدل سرعة القص الظاهري (sec^{-1}).

ويسمى المقدار $\frac{(3n+1)}{4n}$ بتصحيح رابينوفيتش

إذ إن: n هي عبارة عن دليل الجريان الذي يعين من منحنيات الجريان (Guo-sheng H., *et al.*, 2006; Ji-Zhao L., 2002)، ومن خلال الحمولات يعين الضغط المؤثر (P) الذي أدى إلى توليد سرعة القص وفقاً للعلاقة الآتية:

$$P = \frac{G \cdot 981}{p \cdot R^2} \quad (3)$$

إذ إن:

R نصف قطر البستون (cm).

G الثقل المطبق على البستون (g).

ومن خلال قيم الضغط عند حمولات مختلفة تُعَيَّن قيم إجهادات القص الظاهرية الموافقة (τ_a) وفق العلاقة الآتية:

$$t_a = \frac{P \cdot Rc}{2 \cdot Lc} \quad (4)$$

إذ إن:

τ_a إجهاد القص الظاهري (Pa).

P الضغط المطبق (Pa).

Rc نصف قطر القالب الشعري المستخدم (cm).

Lc طول القالب الشعري المستخدم (cm)

يُعيَّن إجهاد القص الحقيقي (τ_c) من خلال إجراء تصحيحات باكلي (Bagley's Correction) (Bagley, E. B., 1957) وذلك باستخدام مجموعة من القوالب الشعرية متماثلة القطر ومختلفة الأطوال وفقاً للمعادلة الآتية:

$$t_c = \frac{P_c}{2 \left(\frac{L}{Rc} + e \right)} \quad (5)$$

إذ إن:

τ_c إجهاد القص الحقيقي (dyne/cm^2).

P_c الضغط الحقيقي داخل قناة القالب الشعري (Pa).

L طول القالب الشعري (cm).

Rc نصف قطر القالب الشعري (cm).

e معامل تصحيح باكلي.

تعيّن اللزوجة الحقيقية (h_c) من العلاقة:

$$h_c = \frac{t_c}{g_c} \quad (6)$$

تعيّن طاقة تنشيط الجريان اللزج عند إجهادات قص ثابتة E_{τ_c} وسرع قص ثابتة E_{γ_c} وذلك من خلال إجراء الدراسة عند درجات حرارة مختلفة باستخدام نموذج معادلة ارينوس (Lenk, R.S., 1978 ; Deri, F., *et al.*, 2010)

$$h_c = A.e^{\frac{E_{\tau_c}}{R.T}}$$

$$h_c = A.e^{\frac{E_{\gamma_c}}{R.T}}$$

$$\ln h_c = \ln A + \frac{E}{R.T} \quad (7)$$

إذ إن: E_{τ_c} طاقة تنشيط الجريان عند إجهاد قص ثابت (J/mol).

E_{γ_c} طاقة تنشيط الجريان عند معدل سرعة قص ثابت (J/mol).

R ثابت الغازات العام ($R=8.314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

T درجة الحرارة المطلقة ($^{\circ}\text{K}$).

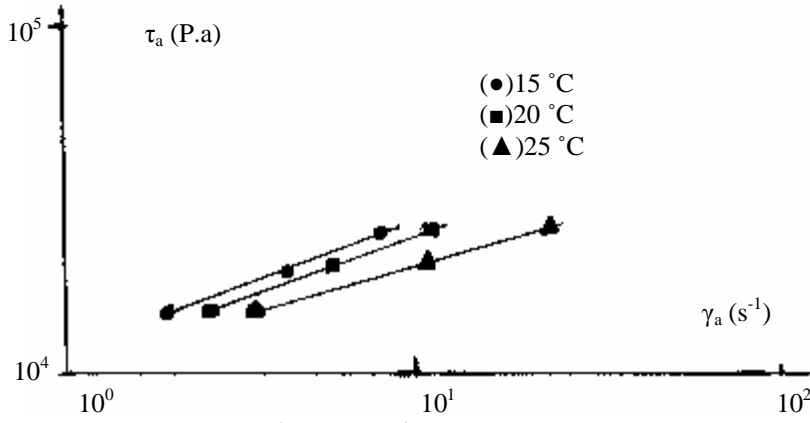
A ثابت العلاقة يرتبط بالبنية .

η_c اللزوجة الحقيقية (Pa.s).

النتائج والمناقشة

1- دراسة منحنى الجريان

دُرستُ منحنيات الجريان للمادة المدروسة؛ وذلك برسم تحويلات إجهاد القص الظاهري τ_a بدلالة معدل سرعة القص الظاهرية γ_a عند درجات الحرارة $^{\circ}\text{C}$ (15 , 20 , 25) وبيّين الشكل (2) ذلك.



الشكل (2) تحولات إجهاد القص الظاهري τ_a بدلالة معدل سرعة القص الظاهري γ_a عند درجات حرارة مختلفة.

يُفيد منحني الجريان السابق في تعيين دليل الجريان (n) الذي يعبر عن مدى انحراف المواد عن السلوك النيوتيني، وبحسب دليل الجريان من خلال ميل المستقيمات في الشكل السابق. عند درجات الحرارة المدروسة ووفق العلاقة الآتية:

$$n = \frac{d(\log t_a)}{d(\log g_a)} \quad (8)$$

وبتطبيق العلاقة (8) تبين أن دليل الجريان ($n < 1$) وهو ما يثبت أن المادة المدروسة تنتمي في سلوكها الريولوجي عند الشروط المطبقة إلى الموائع الشبيهة بالبلاستيك (Tadmor, Z., et al., 2006). ويبين الجدول (2) قيم دليل الجريان n للمادة المدروسة.

الجدول (2) قيم دليل الجريان n عند درجات الحرارة المطبقة

n			Lc/Rc
25 °C	20 °C	15 °C	
0.247	0.327	0.357	8
0.282	0.263	0.282	16
0.161	0.272	0.221	32
0.428	0.425	0.819	64

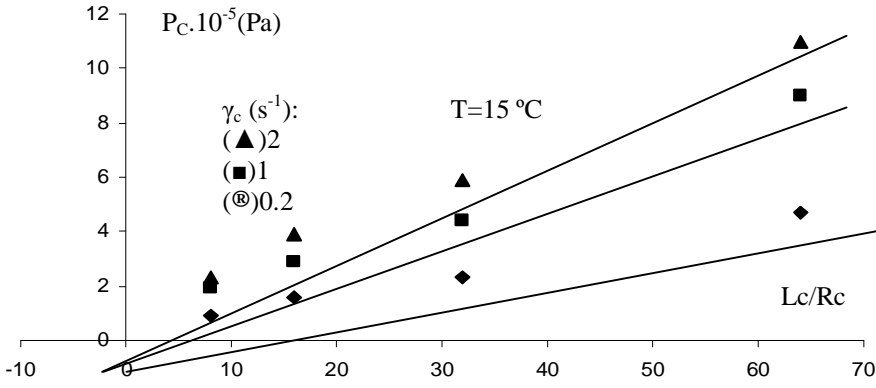
2- تصحيح المعطيات التجريبية

2-1- تصحيح باكلي (e) وإجهاد القص الحقيقي τ_c

عندما يدخل مصهور المادة إلى قناة القالب الشعري تتجمع الجزيئات عند مدخل القالب مما يؤدي إلى إعاقة حركة دخولها وكأن إحداها تنتظر سابقتها لتعبر هي الأخرى

مشكلة فيما بينها قناة من المصهور تمتد بامتداد قناة القالب الشعري؛ مما يسبب حدوث هبوط في الضغط المطبق. ويعين الضغط المفقود بطريقة باكلي؛ وذلك باستخدام القوالب الشعرية الواردة في الجدول (1).

حُدّد معامل التصحيح (e) ووفقاً لطريقة باكلي بيانياً من خلال علاقة الضغط P_c بدلالة أبعاد القالب الشعري عند قيم معينة لسرعة القص ولكل درجة من درجات حرارة القياس التجريبية، إذ يُعَيّن الضغط الحقيقي من خلال حذف 5.7% من قيمة الضغط الظاهري المطبق (الناتج عن الحمولات المطبقة) (Deri, F., et al., 1998). يبيّن الشكل (3) تحولات الضغط الحقيقي P_c بدلالة أبعاد القالب الشعري Lc/Rc للمادة المدروسة عند درجة الحرارة $15^\circ C$. حيث حُسب إجهاد القص الحقيقي بحسب العلاقة (5):

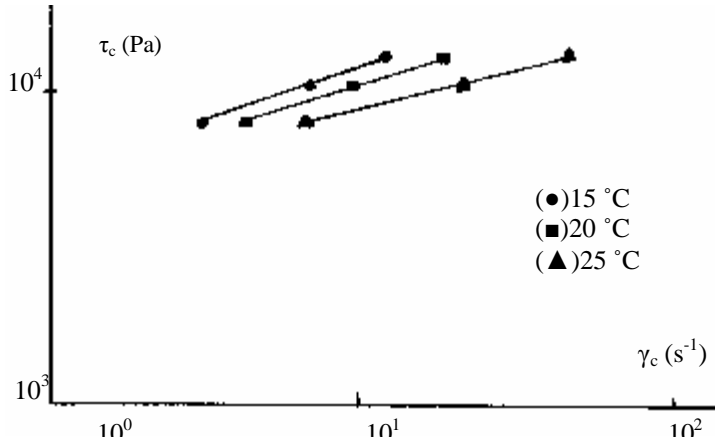


الشكل (3) مستقيمات باكلي - علاقة الضغط بدلالة أبعاد القالب الشعري Lc/Rc عند درجة الحرارة $15^\circ C$.

2-2- تصحيح رابينوفيتش ومعدل سرعة القص الحقيقي g_c

ويمكننا اعتماداً على العلاقة (2) حساب معدل سرعة القص الحقيقي g_c للمادة المدروسة.

ومن خلال التصحيحات السابقة رُسمت تحولات إجهاد القص الحقيقي بدلالة معدل سرعة القص الحقيقية كما في الشكل (4):



الشكل (4) تحولات إجهاد القص الحقيقي t_C بدلالة معدل سرعة القص الحقيقية g_C عند درجات حرارة مختلفة.

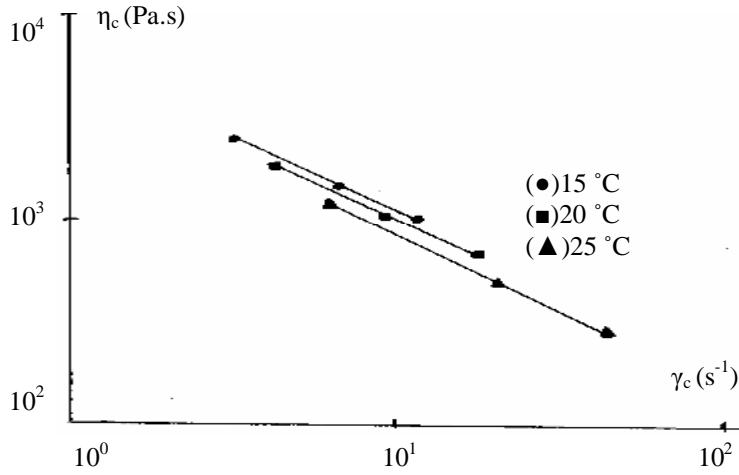
3- اللزوجة الحقيقية

بعد أن حُسبَ إجهاد القص الحقيقي t_C ومعدل سرعة القص الحقيقية g_C أصبح بالإمكان تعيين اللزوجة الحقيقية h_C وفقاً للعلاقة (6).

يبين الشكل (5) تحولات اللزوجة الحقيقية h_C بدلالة معدل سرعة القص الحقيقية g_C .

من هذا الشكل نجد أن اللزوجة الحقيقية تنخفض مع ازدياد معدل سرعة القص الحقيقية ضمن المجال المدروس من درجات الحرارة، وهذا السلوك يميز الموائع الشبيهة بالبلستيك إذ إنه عند ارتفاع معدل سرعة القص تنتظم السلاسل البوليميرية بشكل متوازٍ باتجاه الإجهاد المطبق مما يؤدي إلى انخفاض اللزوجة.

ويلاحظ من الشكل أيضاً أن الخطوط البيانية تتباعد في نهاياتها عند القيم المرتفعة لمعدلات سرعة القص، بمعنى أن قفزات جزيئات المادة تتغير في أثناء الجريان؛ وذلك بتأثير تغير درجات الحرارة. فكلما زادت درجة الحرارة ازداد تأثير القص، ويعزى ذلك إلى السلوك الشائع للمواد الذي يتمثل بانخفاض اللزوجة عند ارتفاع درجة الحرارة (Deri, F., et al., 2011).



الشكل (5) تحويلات اللزوجة الحقيقية h_C بدلالة معدل سرعة القص الحقيقية g_C عند درجات حرارة مختلفة.

4- معامل السيولة (M.F.I)

حُدّد معامل السيولة وفق العلاقة الآتية: (الديري والحموي، 2007)

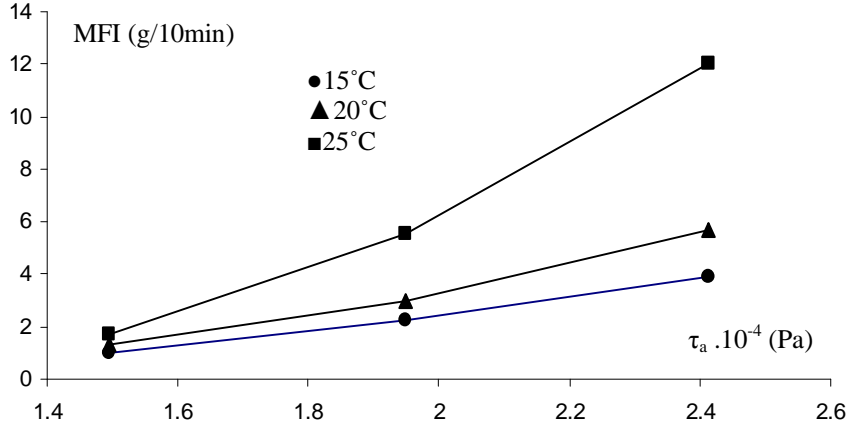
$$M.F.I = 600 \cdot \frac{G_m}{t} \quad (9)$$

إذ إن:

G_m متوسط وزن العينات المتدفقة (g).

t الزمن اللازم لتدفق العينة (sec).

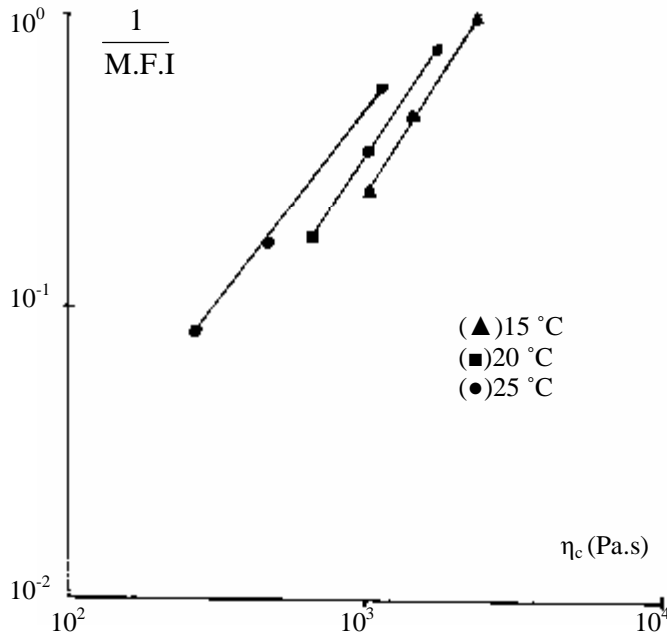
يبين الشكل (6) تحويلات معامل السيولة MFI بدلالة إجهادات القص الظاهرية τ_a المُطبقة:



الشكل (6) تحولات معامل السيولة MFI بدلالة إجهادات القص الظاهرية المُطبقة عند درجات حرارة مختلفة.

يلاحظ من الشكل أن معامل السيولة يزداد بارتفاع قيمة إجهاد القص الظاهري وفق تابع أسّي محدّد يشمل قيم إجهادات القص المُطبقة جميعها، وعند درجة الحرارة المدروسة.

كما يبيّن الشكل (7) تحولات مقلوب معامل السيولة $\frac{1}{M.F.I}$ بدلالة اللزوجة الحقيقية عند درجات حرارة مختلفة.



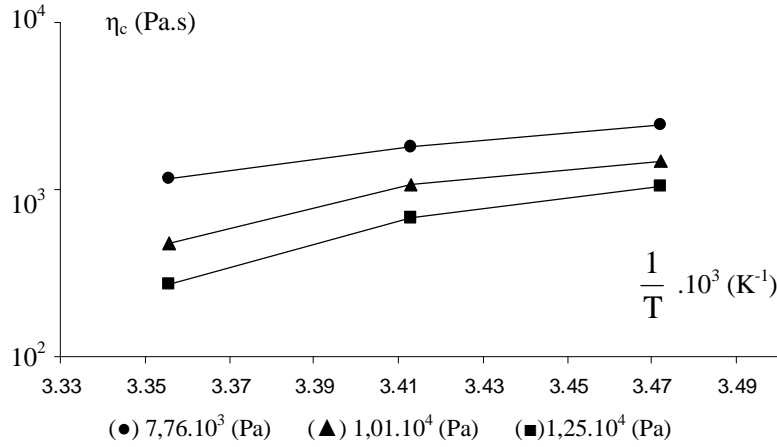
الشكل (7) تحولات مقلوب معامل السيولة $\frac{1}{M.F.I}$ بدلالة اللزوجة الحقيقية h_C عند درجات حرارة مختلفة.

تمثل تحولات الـ $\frac{1}{M.F.I}$ على المخطط المبين مونغراماً وحيد التمثيل للزوجة الذي يفيد في تنبؤ سلوكية اللزوجة بدلالة الـ $\frac{1}{M.F.I}$ من أجل الحمولات ودرجات الحرارة ضمن مجال القياس.

5- طاقة تنشيط الجريان

دُرس تأثير درجة الحرارة في اللزوجة تحت تأثير إجهادات قص ثابتة؛ وذلك بالاعتماد على علاقة أرينوس (7):

يمثل الشكل (8) تحولات اللزوجة الحقيقية بدلالة مقلوب درجة الحرارة للشحم تحت تأثير إجهادات قص مختلفة:



الشكل (8) تحولات اللزوجة بدلالة مقلوب درجة الحرارة تحت تأثير إجهادات قص ثابتة مختلفة

نلاحظ من الشكل السابق أن لزوجة الشحم المدروس تنخفض مع ازدياد درجة الحرارة إذ إنه بارتفاع درجة الحرارة تزداد حركية السلاسل وتنخفض المقاومة بين طبقات المصهور؛ مما يؤدي إلى انخفاض اللزوجة.

تحسب طاقة تنشيط الجريان عند إجهادات قص مختلفة من ميل المستقيمات في الشكل (8) ويوضح الجدول (3) قيم طاقة التنشيط عند إجهادات قص مختلفة .

الجدول (3) قيم طاقة التنشيط عند إجهادات قص مختلفة E_τ (KJ/mol)

τ_c (Pa)	$7,76.10^3$	$1,01.10^4$	$1,25.10^4$
E_τ (KJ/mol)	52.25349	79.50678	95.0789

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

نلاحظ من الجدول (3) أن طاقة تنشيط الجريان تزداد بارتفاع إجهاد القص، إن النتائج التي تم الحصول عليها هي ما قد تم التوصل إليه وملاحظته من قبل مجموعة من الباحثين (Jaziri, M., 1992; Liorens, J., et al., 2003).

6- تعيين مدة مكوث الشحم في القالب الشعري في أثناء الجريان

عندما تؤثر في الجزيئات حمولة أو عند انتقالها من مقطع أكثر اتساعاً إلى مقطع أقل اتساعاً (من المستودع إلى القناة الشعيرية) أو بالعكس، فإنها تعاني عند جريانها نوعاً من

الاضطراب، وقد لا يتهيأ لهذه الجزيئات الفرصة الكافية لكي تسترخي وتأخذ وضعيتها الطبيعية في الجريان، وهذا يعتمد على زمن مكوث الجزيئات المصهورة داخل القناة الشعرية فكلما كان زمن المكوث أطول حدث استرخاء بشكل أكبر، وهذا بدوره يعتمد على كل من سرعة القص (γ) وأبعاد القالب الشعري Lc/Rc ، يعين زمن مكوث الجزيئات داخل القناة وفق العلاقة الآتية (Deri, F., et al., 1978):

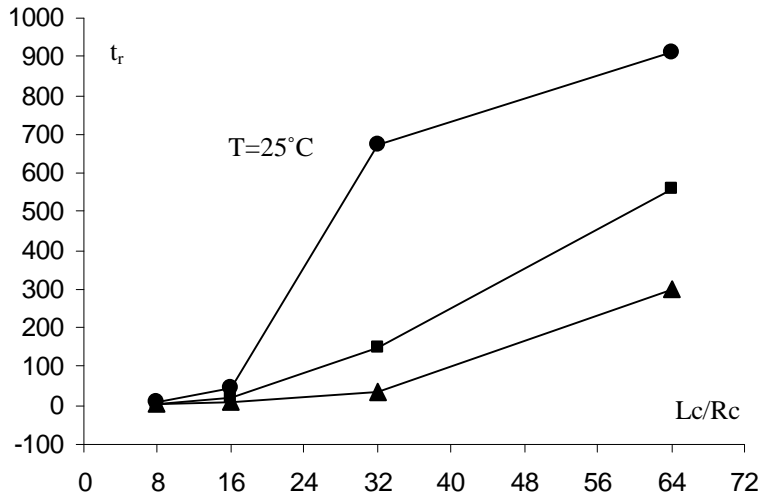
$$t_r = \frac{4 \cdot L}{g_a \cdot Rc} \quad (10)$$

إذ إن: t_r زمن مكوث المادة المنصهرة داخل القناة الشعرية (sec)

Lc طول القناة الشعرية (cm).

Rc نصف قطر القناة الشعرية (cm).

γ_a معدل سرعة القص الظاهري (sec^{-1}).



الشكل (9) تحولات t_r بدلالة Lc/Rc عند درجة الحرارة $25^\circ C$

ويبين الشكل (9) تحولات t_r بدلالة Lc/Rc عند الدرجة $25^\circ C$ ومنه يظهر أن زمن مكوث الشحم يزداد بازدياد طول القالب، أي إن الشحم ينتابه تشوه في جريانه ويعود هذا التشوه إلى تمزق في جريان الصهارة، أي إنه في أثناء جريان الصهارة وتحت تأثير إجهادات القص العالية لا تستطيع الصهارة المحافظة على انسيابها السلس فينتابها نوع من الانقطاع والتمزق.

الاستنتاجات

1. 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.
2. إن اللزوجة الحقيقية h_c تنخفض مع ازدياد معدل سرعة القص الحقيقية g_c وهذا ما يميز سلوك المواد الشبيهة بالبلاستيك.
3. درست تحولات اللزوجة بدلالة مقلوب درجة الحرارة المطلقة لتعيين طاقة تنشيط الجريان بالاعتماد على علاقة أرينوس، إذ تُعبّر طاقة التنشيط عن مدى حساسية لزوجة الشحم تجاه تغيّر درجة الحرارة، إذ كلما كانت قيمة طاقة التنشيط أكبر زادت الحساسية والعكس صحيح.
4. عُيّن زمن مكوث الشحم في القالب في أثناء الجريان، وقد تبين أن الشحم ينتابه تشوه في جريانه ويعود هذا التشوه إلى تمزق في جريان الصهارة، أي إنه في أثناء جريان الصهارة وتحت تأثير إجهادات القص العالية لا تستطيع الصهارة المحافظة على انسيابها السلس فينتابها نوع من الانقطاع والتمزق.

المراجع REFERENCES

- الديري، فواز. الحموي، منال. 2007. الغرويات والجزينات الضخمة - منشورات جامعة دمشق - كلية العلوم .
الموسوعة العربية، المجلد السادس << العلوم التطبيقية >> الصناعة << التزليق
- Bagley, E. B., 1957. End Corrections in the Capillary Flow of Polyethylene, J. Appl. Phys., V. 28, pp. 624-627.
- Bartels, T., *et al.*, 2005. Lubricants and Lubrication" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.
- Cottle, D. L., 1956. Synthetic oil base Lubricating Grease composition, U.S. Patent office.
- Deri, F. A. Chehada, F. Fallouh. 1998. Studying and producing of the electrical generators elastomeric, coupling, Damascus University Journal V.14 ,pp.55-81
- Deri, F. Hamad, K. Kaseem, M., 2010 . Rheological and mechanical properties of PLA/PS polymer blend, Polymer Bulletin V.65, pp. 509 – 519.
- Deri, F. Hamad, K. Kaseem, M., 2011. Melt rheology of PLA/LDPE polymer blend, advances in chemical engineering and science V.4 ,pp. 208 – 214.
- Deri, F. Aldiab, S. Balkhi, A. M., 1989. Influence de la température sur l'écoulement des polymères. 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, V.173,pp.1-13.
- Deri, F. Genillon, R. May, J. F., 1985. Étude des propriétés rhéologiques des mélanges de polypropylène-polystyrène et de polystyrène-polyéthylène basse-densité , Die Angewandte Makromolekulare Chemie, V. 134,pp. 11-22
- Deri, F. Genillon, R. May, J-F., 1978. Etude des propriétés rhéologiques des mélanges fondus de polypropène et de polybutène-1 à des cisaillements faibles, Die Angewandte Makromolekulare Chemie, V. 68 ,pp. 67- 85.
- Grasshoff, H. D., 1976. Lithium Soap Lubricating Grease, U.S. Patent.
- Guo-sheng, H. Biao-bing, W. Feng-zhen, G., 2006. Investigation on the rheological behavior of nylon 6/11 Materials Science and Engineering: A, V. 426,pp. 263-265.
- Hannelid, L.; 2005. Introduction to Reology of Lubricating Grease Publication; European Lubricating Grease Institute; Chapter 1.
- Hobson, G.d. Dawtrey, S., 1975. Modern Petroleum Technology; 4th Edition reprinted.
- Jaziri, M., 1992. These (Etude du greffage a l'etat fondu de l'anhydride maleique Sur l' abs. Influence dn compose obtenu. Sur l' elabonation et les proprietes melanges Polycarbonate/ABS. Soutenre le 20 Fevrier.
- Johnson, U., 1995. Lubrication Rheology in Refrigeration Systems, Gorgia Ins.of Tech. (U.S.A.).

- Ji-Zhao, L., 2002. The elastic behaviour during capillary extrusion of LDPE/LLDPE blend melts, *Polymer Testing*, V. 21, pp. 69-74.
- Lenk, R. S., 1978. *Polymer rheology*, Applied Science Publishers Ltd., London, 375 pp.
- Liorens, J. Rudé, E. Marcos, R.M., 2003. Polydispersity index from linear viscoelastic data: unimodal and bimodal linear polymer melts, *Polymer*, V.44 ,pp. 1741-1750.
- Lubricant, from Wikipedia, the free encyclopedia.
- Rheology, From Wikipedia, the free encyclopedia
- Sebenik R. F. *et al.* 2005, Molybdenum and Molybdenum Compounds" in Ullmann's Encyclopedia of Chemical Technology.
- Sinthavathavorn, W., Nithitanakul, M., Grady, B. P., Magaraphan, R. (2008). "Melt Rheology of Low-density polyethylene/polyamide 6 using Ionomer as a Compatibilizer." *Polymer Bulletin*, V. 61, No. 3, pp. 331-340.
- Sinthavathavorn, W.; Nithitanakul, M.; Grady, B. P. and Magaraphan, R. (2009). "Melt Rheology and Die Swell of PA6/LDPE Blends by using Lithium Ionomer as a Compatibilizer." *Polymer Bulletin*, V. 63, No. 1, pp. 23-35.
- Tadmor, Z. Gogos, C. G., 2006. *Principles of Polymer Processing* John Wiley & Sons.