مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (31) العدد (2) 2009
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (31) No. (2) 2009

تأثير المعالجة الحرارية على قيم منحنيات (الشد – الانفعال) للبولي إيثلين عالي الكثافة (HDPE)

الدكتور رامي منصور *

(تاريخ الإيداع 10 / 9 / 2008. قُبِل للنشر في 2009/4/28)

□ الملخّص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير ظروف المعالجة الحرارية على منحنيات (الشد – الانفعال) للبولي إيثلين عالي الكثافة HDPE. لهذه الأسباب تم تحضير عينات ذات سماكات مختلفة من أنابيب البولي إيثلين عالي الكثافة المخصصة لمياه الشرب.

وجد أن المعالجة الحرارية تسبب زيادة في كافة الخواص المقاسة والمتضمنة إجهاد الشد عند الخضوع وإجهاد الشد عند نقطة تشكل العنق وإجهاد الشد عند التحطم، وكذلك الاستطالة النسبية عند الخضوع وعند العنق.

تظهر النتائج أيضاً أنه يمكن الحصول على أفضل الخواص بعد التسخين لمدة 6 hours بدرجة الحرارة 100 C° وأن المجال الفعال يقع بين (1-6) hours عند هذه الدرجة، وأنه ليس ضرورياً الاستمرار بالتسخين بسبب بقاء الخواص المقاسة ثابتة بعد هذا الزمن.

الكلمات المفتاحية: المعالجة الحرارية للبولي إيثلين عالي الكثافة – منحنيات (الشد –الانفعال) للبولي إيثلين عالي الكثافة

* أستاذ مساعد – قسم التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (31) العدد (2) 2009
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (31) No. (2) 2009

The Effect of Heat Treatment on Values (Tensile – Stress Curves of High Density Polyethylene (HDPE)

Dr. Rami Mansour *

(Received 10 / 9 / 2008. Accepted 28 / 4 / 2009)

□ ABSTRACT □

This research aims to study the effect of heat treatment conditions on (tensile –stress) curves of high-density polyethylene (HDPE). Because of these reasons, many drinking water HDPE pipes specimens with different thickness have been prepared.

The findings have demonstrated that heat treatment causes increase in all measured properties, including tension at yield-point, necking point, break, along with elongation at yield and break points.

The findings have also shown that we can get better properties after heating 6 hours at 100 C°, the effective range is between (1- 6) hours at this temperature, and it is not necessary to continue heating because all measured properties become constant after this time.

Key Words: Heat Treatment, (Tensile –Stress) curves for HDPE

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

مقدمة:

يتم تعديل البنية الداخلية لمنتج بوليميري ما فيزيائياً بتعريضه لأوساط أو مجالات مختلفة (حرارية – مغناطيسية – أشعة غاما – أمواج فوق صوتية ....الخ)، حيث يتم الحصول على التنظيم المطلوب لشكل وتوزع البنية فوق الجزيئية ضمن كتلة المنتج النهائي [1,2,3,14].

تهدف المعالجة الحرارية للمنتج البلاستيكي إلى تحرير البنية من مجموع الإجهادات المتبقية الناتجة عن عملية التشكيل، ويمكن لهذه المعالجة أن تتم بوسط هوائي أو مائي. واستناداً لهذا يمكن أن نميز المعالجة الحرارية ، والمعالجة الحرارية الانتشارية، والمعالجة الحرارية – الميكانيكية [4,5].

يتم بالمعالجة الحرارية تسريع عملية استرخاء الإجهادات المتبقية في المنتج النهائي الناتجة عن الإجهادات الحرارية أثناء عملية التصنيع، وعن عملية التوجيه والاستطالة التي تتعرض لها الجزيئات العملاقة ، وهي في الحالة اللدنة – السائلة نتيجة إجبارها على المرور عبر قنوات خاصة بأداة التشكيل، أثناء العمل على آلة البثق، أو نتيجة ملء فراغات قوالب التشكيل أثناء العمل على آلة حقن البلاستيك [6].

أهمية البحث وأهدافه:

تتعرض المادة البوليميرية في آلة التشكيل إلى جملة من التحولات الفيزيائية التي تساهم بشكل كبير في إنتاج الإجهادات المتبقية. تظهر المصادر العلمية [7,8] أن البوليميرات اللابلورية (Amorphous Polymer) كما هو الحال لدى مادة البولي فينيل كلوريد PVC، تمر قبل وصولها إلى الحالة اللدنة بالمرحلة العالية المرونة، في حين لا تظهر المواد القابلة للتبلور (semicrystalline) مثل: البولي إيثلين PE والبولي بروبلين PP المجال العالي المرونة، وإنما تنتقل مباشرة إلى الحالة اللدنة بعد تجاوزها درجة حرارة الانصهار.

تساهم عملية التبريد، وهي إحدى مراحل عملية التشكيل بالخط الإنتاجي، في تحديد وتوجيه خواص البنية بالاتجاه المرغوب فيها. فالتبريد المفاجئ يمنع التراكيب البلورية التي تنشأ من التقاء بعض أجزاء السلاسل البوليميرية من النمو لتشكيل تراكيب بلورية أكبر حجماً، أما التبريد البطيء والتدريجي للمنصهر البوليميري فإنه يساعد على تكوين البلورات ونموها، لأنه يفسح المجال للسلاسل البوليميرية بالحركة الموضعية لترتيب نفسها على هيئة تراكيب بلورية[4,7,8,10].

تلعب سرعة التبريد دوراً كبيراً في تشكل الإجهادات المتبقية (Residual Stresses) حيث يساهم التبريد السريع للمادة في حدوث ما يسمى بعملية تجميد (Frozen) للجزيئات العملاقة في الوضعية التي تشغلها، كما وتجبر عملية التوجيه التي تتعرض لها الجزيئات العملاقة أثناء التشكيل على أن تشغل وضعيات وأشكال توافق سوية الطاقة المقدمة لها. واستناداً إلى القوى الانتروبية، ووفقاً لمفهوم ذاكرة المادة، فإن هذه الجزيئات تسعى دوماً للعودة إلى شكلها الأولي الذي كانت تشغله [9]، وبالنتيجة فإن عملية التجميد تجعل الجزيئات في حالة غير مستقرة لأنها تسعى، وعند توفر أي ظروف مناسبة، للعودة إلى شكلها الابتدائي .

يكون معدل التبريد عادة في مركز المنتج بطيئاً بالمقارنة مع سطحه الخارجي [7, 13]، وهذه الظاهرة تسمح بالواقع بنمو التراكيب البلورية في المركز بشكل أكبر مقارنة مع السطح. كما وتعتمد سماكة الطبقات البلورية على الموقع النسبي، وعلى معدلات التبلور والتبريد. فإذا كان معدل التبريد سريعاً، بالمقارنة مع سرعة عملية التبلور فإن البوليمر يستطيع بدرجة حرارة الغرفة أن يتبلور بدرجة يمكن إهمالها، حتى ولو كان له ميول لعملية التبلور.

يعتبر البولي إيثلين ثري فتالات PET مثالاً نموذجياً عن البوليميرات المستخدمة في صناعة الأواني والقارورات الشفافة، حيث يتم اعتماد مبدأ التبريد السريع أثناء التصنيع بهدف الحصول على منتجات شفافة ببنية لابلورية، علماً أنه من البوليميرات القابلة للتبلور. على عكس بعض البوليميرات مثل البولي إيثلين عالي الكثافة HDPE حيث يساهم التبريد السريع في تشكل معدل تبلور عالٍ عند إنتاج الرقائق [10,13].

إن اختلاف سرعة التبريد بين مركز المنتج وسطحه الخارجي، عند التبريد السريع، يعتبر من الأسباب الرئيسة في تشكل الإجهادات الداخلية المتبقية. فالجزيئات الموجهة قسراً لا تمتلك الزمن الكافي للاسترخاء والترتيب فيما بينها، كما أن التدرج الحراري يسبب نشوء بنية في المركز أكثر ترتيباً من البنية السطحية بسبب التفاوت الزمني لتأثير عملية التبريد، الأمر الذي يساهم أيضاً بتشكل عدم تجانس بالبنية على كامل سماكة المنتج النهائي[13].

تستمر عملية التبلور بالحدوث عند بعض البوليميرات القابلة للتبلور، والتي تتصف بامتلاكها درجات حرارة تزجج أصغر بكثير من درجة حرارة الاستثمار. فالمصادر العلمية[4,7,8,10] تظهر أن البوليميرات لا يمكنها أن تتبلور بدرجات أصغر من درجة حرارة تزججها (Glass Transition Temperature) ولكن البولي إيثلين PE والبولي بروبلين PP لديهما درجات حرارة تزجج بعيدة جداً عن درجة حرارة الغرفة، ولهذا السبب فإن عملية التبلور تستمر أثناء زمن الاستثمار بدرجة حرارة الغرفة .

تظهر الدراسات أيضاً [5,7,8,9] أنه نتيجة استمرار عملية التبلور بالمنتج، خلال زمن الاستثمار، يحدث انخفاض بالحجم النوعي للمنتج مصحوباً بظاهرتي التقلص (Shrinkage) والاعوجاج (Warping)، وهذه الظواهر مهمة لتقيم استقرار أبعاد المنتج النهائي.

تهدف المعالجات الحرارية التي تجرى على المواد إلى تحسين بنيتها الداخلية، وبالتالي خواصها الفيزيائية والميكانيكية. أظهرت المصادر [9,10,13] أن زيادة درجة حرارة التعتيق يسبب تحسناً في الخواص المدروسة مثل قابلية التبلور ودرجة الانصهار ومعامل الشد والقساوة الميكروية، وتظهر أيضاً أن إجراء المعالجة الحرارية على بعض المركبات البوليميرية بالدرجة 50C° غير كافية لتحقيق استرخاء الانفعالات العالية المرونة ، ولاستقرار أبعاد المنتج المصنع منها، وأنه يتم الوصول إلى حالة الاستقرار بالأبعاد باستمرار عملية التسخين لمدة 48 hour بالدرجة 80 C°.

تساهم الإجهادات والانفعالات المتبقية في المنتج النهائي بتخفيض خواصه الميكانيكية – الفيزيائية خلال زمن الاستثمار. لهذا السبب فإن البحث عن ظروف تصنيع مثالية يعتبر الأساس العملي عند تصنيع أية مادة بوليميرية كونه يهدف دوماً إلى تحديد ظروف تصنيعية تحقق أقل قدر ممكن من هذه الإجهادات المتبقية [13].

يهدف البحث إلى دراسة تأثير عملية المعالجة الحرارية على عينات ذات سماكات مختلفة مأخوذة من أنابيب البولي إيثلين عالي الكثافة، المخصصة لجر مياه الشرب، على القيم الأساسية المميزة لمنحنيات (الإجهاد – الانفعال) بهدف رصد التغيرات الحاصلة بالخواص الميكانيكية، من جراء المعالجة الحرارية، فقد اعتمد بالبحث النظام التالي:

- درجات الحرارة المستخدمة بالمعالجة الحرارية $T = (60 , 80 , 100) C°$
- الأزمنة المستخدمة بالمعالجة الحرارية $t = (1, 6, 24, 48)$ hour
- نظام التبريد: التبرد ذاتي بطيء بتماس مباشر للعينات مع هواء الوسط المحيط

طرائق البحث ومواده:

عينات من أنابيب البولي إيثلين عالي الكثافة إنتاج شركة المتين – حمص – سوريا ذات سماكات مختلفة (6.5, 7.2, 8.7) mm ولها المواصفات التالية:

1) اللون أزرق – السطوح الداخلية والخارجية ملساء وخالية من العيوب السطحية

2) الكثافة $\rho = 0.945\ g/cm^2$

3)القيمة الوسطى المواد المتطايرة 150 mg / kg

4)القيمة الوسطى لامتصاصية الماء 200 mg / kg

5)الاستطالة النسبية الوسطى أكبر من 400 %

6)درجة حرارة فيكات (Vicat) T_v =115 C°

7)دليل جريان المنصهر $M = 0.3\ g / 10\ min$

8)القيمة الوسطية للارتداد الطولي بالدرجة 110 C° خلال زمن قدره 1 hour تقريباً 1 %

وقد استخدم لإنجاز الجزء التجريبي الأجهزة التالية:

1 – فرن تجفيف ألماني الصنع نوع memmert مؤتمت مزود بمؤقت مع إمكانية التحكم بالزمن ودرجات الحرارة متوفر بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين

2 – بياكوليس رقمي بدقة قياس حتى 0.01 mm

3 – آلة شد ألمانية الصنع – ماركة Test – مبرمجة متوفرة بجامعة دمشق.

تمت عملية شد العينات بسرعة 50 mm / min – درجة حرارة الاختبار 22 C°

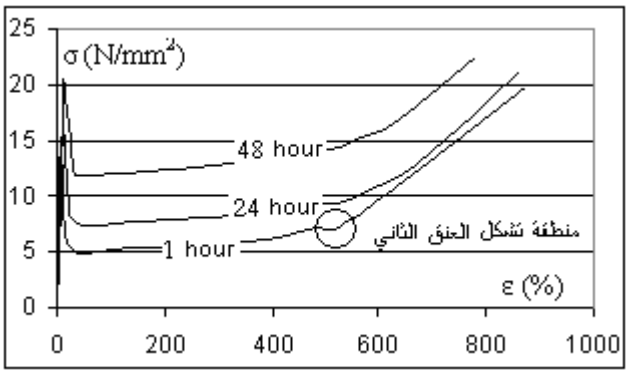
وقد تم تحضير عينات اختبار الشد حسب المواصفة القياسية العالمية ISO 6259 وفق ما هو مبين بالشكل(1).

الشكل (1) – الشكل العام لعينات اختبار الشد

النتائج والمناقشة:

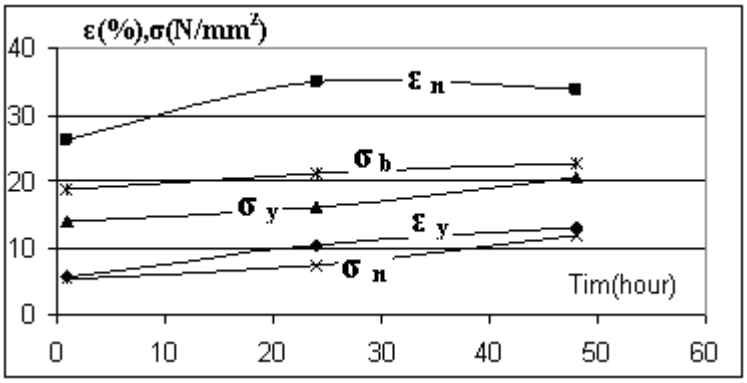
تتصف درجات الحرارة التي تم اعتمادها في القسم التجريبي في أنها بعيدة جداً عن درجة حرارة تزجج البولي إيثلين عالي الكثافة (T_g = - 160 C°) مما يعني إمكانية حدوث عملية التبلور في البنية الداخلية بسرعة كبيرة جداً بالمقارنة مع سرعتها في درجات حرارة الاستثمار، والتي هي درجة حرارة التربة التي تطمر بها هذه الأنابيب(10 C°) [7,8,12].

أظهرت النتائج المبينة بالشكل (2) تأثير درجة حرارة المعالجة 60 C° على منحنيات (إجهاد الشد – الانفعال) بدلالة زمن المعالجة الحرارية لعينات سماكتها S = 6.15 mm.



الشكل (2) منحنيات (الشد – الانفعال) بدلالة زمن المعالجة بالدرجة C° 60 لعينات من البولي إيثلين عالي الكثافة HDPE – سماكة العيناتmm 6.15

كما هو واضح من الشكل (2) حدوث تحسن واضح في القيم المميزة لمنحنيات الشد بازدياد زمن المعالجة الحرارية، حيث يلاحظ ازدياد كل من إجهاد حد الخضوع وإجهاد تشكل العنق وإجهاد التحطم. ويوضح الشكل (3) تغير البارامترات المميزة لهذه المنحنيات بدلالة زمن المعالجة الحرارية حيث يلاحظ حصول تحسن عام لكل من إجهاد الخضوع σ_y وإجهاد تشكل العنق σ_n وإجهاد التحطم σ_b وكذلك الانفعال النسبي عن تشكل العنق ε_n والانفعال النسبي عند الخضوع ε_y.

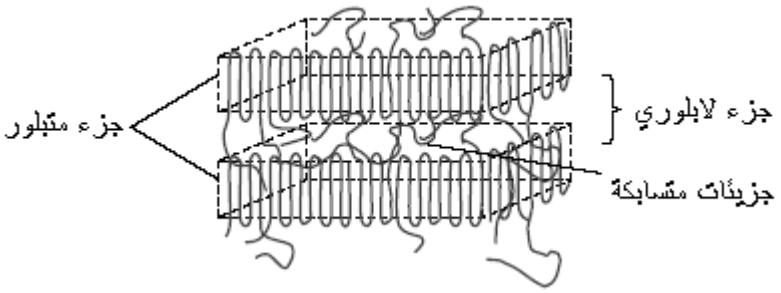


الشكل (3) منحنيات تغير قيم الإجهادات والانفعالات لعينات معالجة حرارياً بدرجة حرارة C° 60 سماكة العينات 6.15 mm

يعتبر إجهاد الخضوع σ_y من البارامترات المميزة التصميمية للمواد بشكل عام لأنه يعبر عن قيم الإجهادات التي يبدأ عندها خضوع المادة وانتقالها من الحالة المرنة – الصلبة إلى الحالة اللدنة [10].

يعود التحسن في قيم إجهاد الخضوع إلى التأثير الحراري لعملية التسخين على الأجزاء غير المتبلورة ضمن بنية البولي إيثلين عالي الكثافة HDPE، حيث تكتسب السلاسل البوليميرية الواقعة ضمن المناطق الانتقالية، الممثلة بالأجزاء اللابلورية المبينة بالشكل (4)، قدرة حركية تمكنها من الانتظام والترتيب فيما بينها بشكل تتناسب وسوية الطاقة المقدمة للجملة البوليميرية، وهذا ما يجعل البنية الإجمالية أكثر انتظاماً.

ينحصر تأثير المعالجة الحرارية على الأجزاء غير المتبلورة في الجملة لأن التأثير على الأجزاء المتبلورة يتحقق فقط عند درجة حرارة الانصهار للبوليمير أي عند درجة حرارة ($T_f = 143\ C°$) لهذا السبب فإن التأثير الفعلي للمعالجة يتم في الأجزاء غير المتبلورة التي تتعرض عند بداية اختبار الشد إلى الانفعال



الشكل(4) – يوضح الترابط بين الأجزاء المتبلورة وغير المتبلورة

والاستطالة باتجاه القوى المؤثرة حتى الوصول إلى إجهاد الخضوع لتبدأ بعدها مرحلة أخرى جديدة في التحول البنيوي بالعينة المختبرة ، والذي يمثل عادة بتشكل منطقة العنق (neck zone).

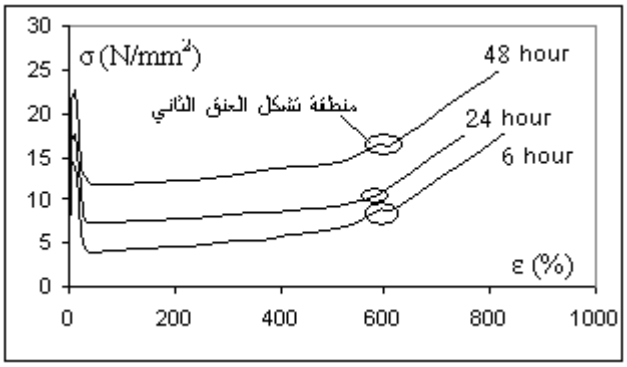
ويعود هبوط الحمل أو الإجهاد في منطقة تشكل العنق (المبين في الشكل1) إلى الانخفاض الحاصل في المقطع العرضي خلال عملية تشكل المنطقة، التي تبدأ عندها عملية تحول بنيوي من البنية البلورية الكروية (Original Spherulitic Structure) إلى البنية الليفية الميكروية (Microfibrillar Structure)

تعَرف عملية نمو العنق خلال اختبار الشد بالسحب على البارد (cold-drawing)، ويرافق هذه العملية تطور أكتاف العنق وزيادة في طول العينة مع استمرار تناقص المقطع العرضي، وخلال عملية الشد يحدث توجيه واستطالة للجزيئات العملاقة (Orientation) بشكل كبير باتجاه الشد قبل الوصول إلى نقطة التحطم، حيث بالنتيجة تتشكل بنية ليفية صرفه في هذا الموقع [11,15].

تظهر منحنيات الشكل (2) أيضاً وجود انخفاض صغير جداً بقيم الإجهاد، يتمثل بتشكل منطقة العنق الثانية، وذلك عند قيم عالية للانفعال (حوالي 500%). يفسر هذا بانتهاء عملية تحول إلى البنية الليفية ليبدأ بعدها حدوث تركيز بالإجهاد المؤثر مترافق مع تضيق صغير جداً في المقطع العرضي للعينة المختبرة، وذلك قبل الوصول إلى إجهاد التحطم لعينة الاختبار.

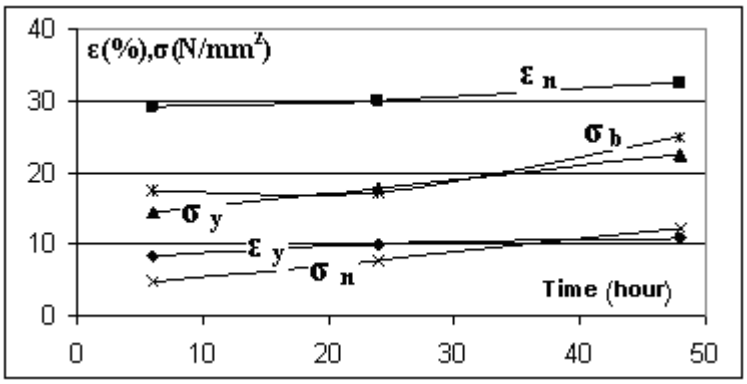
بهدف التحقق من تأثير المعالجة الحرارية السابق على السلوك العام لمنحنيات (الشد – الانفعال) أجريت نفس الاختبارات على عينات أنبوبية ذات سماكات أكبر.

تظهر النتائج المبينة بالشكل (5) تغير منحنيات (الشد – الانفعال) بدلالة زمن التسخين عند درجة حرارة معالجة $60\ C°$ لعينات سماكتها $7.2\ mm$.



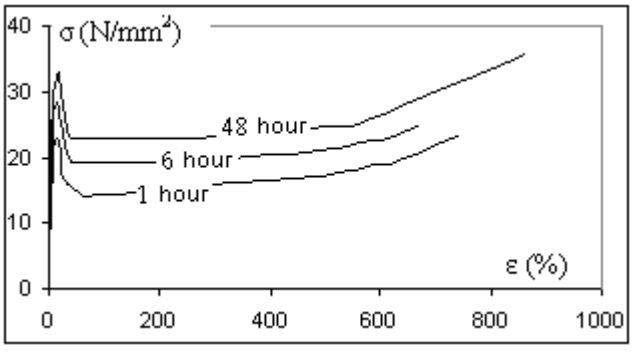
الشكل (5) – منحنيات (الشد – الانفعال) بدلالة زمن المعالجة بالدرجة °C 60 لعينات من البولي إيثلين عالي الكثافة HDPE – سماكة العينات 7.2 mm

كما هو واضح من الشكل أن السلوك العام لتغير هذه المنحنيات مشابهاً تماماً لتغير المنحنيات المبينة بالشكل(2)، حيث يلاحظ تحسن واضح في القيم المميزة لمنحنيات (الشد – الانفعال) بدلالة زمن المعالجة عند الدرجة °C 60. يظهر الشكل أيضاً تشكل منطقة العنق الثانية عند انفعال نسبي قدره % 600 يترافق مع حدوث تناقص بقيم الإجهاد.



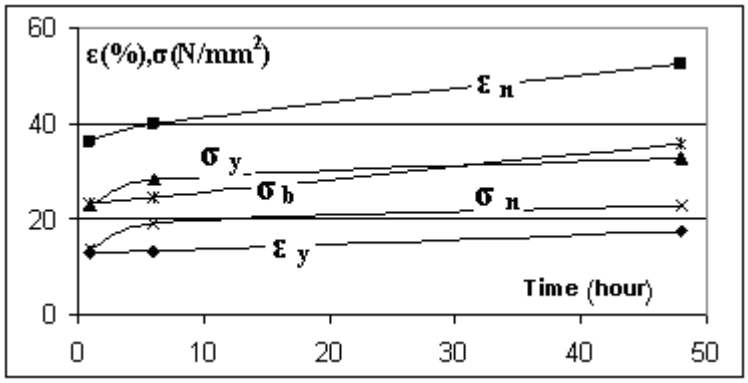
الشكل (6) – منحنيات تغير قيم الإجهادات والانفعالات لعينات معالجة حرارياً بدرجة حرارة °C 60 سماكة العينات 7.2 mm

وبهدف التحقق من هذه التغيرات فإن الشكل (6) يبين تغير القيم المميزة لهذه المنحنيات، حيث يلاحظ تحسن ملحوظ في هذه القيم باستمرار زمن المعالجة مما يدل على عدم الوصول إلى نظام المعالجة المستقر الذي تستقر عنده كافة القيم المميزة باستمرار زمن المعالجة.



الشكل (7) – منحنيات (الشد – الانفعال) بدلالة زمن المعالجة بالدرجة °C 60 لعينات من البولي إيثلين عالي الكثافة HDPE – سماكة العينات 8.7 mm

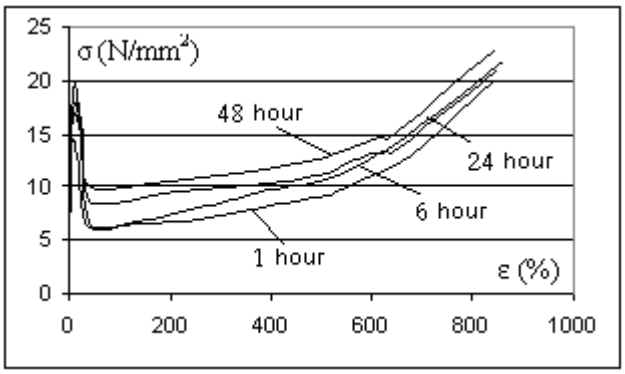
أظهرت المعالجة الحرارية عند هذه الدرجة أيضاً وجود تحسن في الخواص الإجهادية لعينات تم تحضيرها من أنابيب ذات سماكة 8.7 mm ويظهر هذا جلياً في الشكلين (7,8) الذين يظهران تغير منحنيات الشد – الانفعال والقيم المميزة لهذه المنحنيات بدلالة الزمن.



الشكل (8) – منحنيات تغير قيم الإجهادات والانفعالات لعينات معالجة حرارياً بدرجة حرارة 60 C°
سماكة العينات 8.7 mm

أظهرت اختبارات الشد السابقة أن النظام الحراري المتبع (التسخين بالدرجة 60 C° + النظام الزمني) غير كاف لعدم الوصول إلى حالة الاستقرار بالقيم المميزة حيث تظهر كافة المنحنيات (3,6,8) الاستمرار بالتحسن باستمرار زمن التسخين مما يعني عدم وصول البنية إلى الحالة المتجانسة الممثلة بتماثل خواص البنية والتحرر الكامل من الاجهادات الداخلية، لهذا السبب تم إجراء المعالجة الحرارية بالدرجة 80 C° مع المحافظة على النظام الزمني المستخدم.

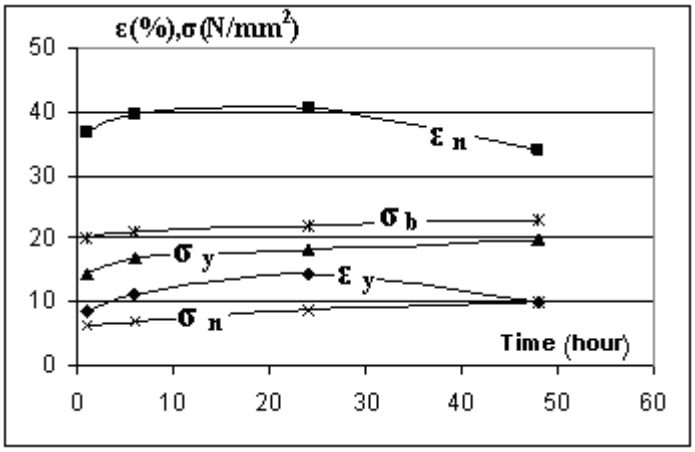
أظهرت النتائج المبينة بالشكل (9) منحنيات الشد – الانفعال لعينات سماكتها 6.15 mm تم معالجتها بدرجة حرارة 80C°. كما هو واضح من الشكل حدوث تحسن واضح في القيم المميزة لمنحنيات الشد، مع ظهور واضح لمنطقتي تشكل العنق الأول والثاني.



الشكل (9) – منحنيات (الشد – الانفعال) بدلالة زمن المعالجة بالدرجة 80 C° لعينات من البولي إيثلين عالي الكثافة HDPE – سماكة العينات6.15 mm

من الملاحظ من منحنيات الشكل (9) حدوث تحسين في القيم المميزة لهذه المنحنيات بدرجة حرارة المعالجة هذه، وأن مقدار هذا التحسين متقارب بزيادة زمن المعالجة الحرارية وهذا ما تؤكده منحنيات الشكل (11) حيث تبين أن

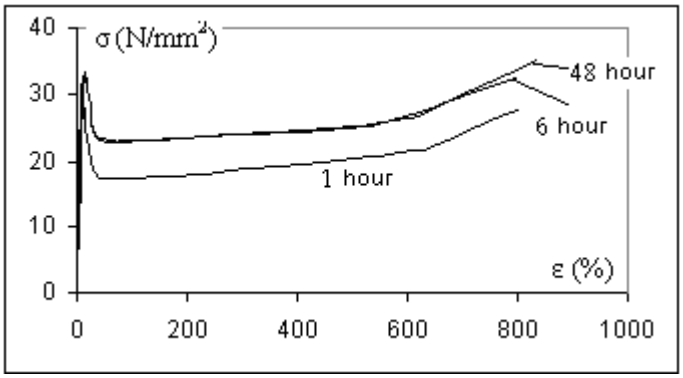
قيم الإجهادات المميزة لهذه المنحنيات ذات قيم متقاربة في حين يلاحظ أن منحنيات الاستطالة النسبية عند كل من إجهاد تشكل العنق وإجهاد التحطم تظهر نقاط حدية بعد 24 hour زمن معالجة.



الشكل (10) – منحنيات تغير قيم الإجهادات والانفعالات لعينات معالجة حرارياً بدرجة حرارة °C 80
سماكة العينات 6.15 mm

إن استمرار وجود تحسن وتغير في القيم المميزة يدل بوضوح على أن النظام المتبع بالمعالجة غير كافٍ لتحقيق الاستقرار، ولهذا السبب أجريت اختبارات أخرى إضافية عند الدرجة °C 100 مع المحافظة على كافة شروط الاختبار السابقة ثابتة.

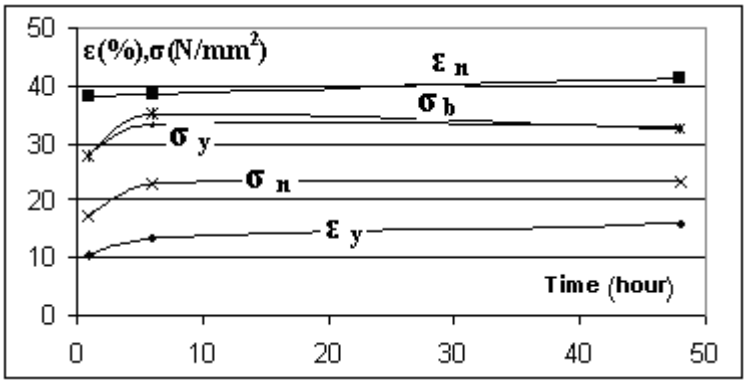
أظهرت نتائج الاختبارات المبينة بالشكل (11) أن الدرجة °C 100 هي درجة تحقق استقرار بمنحنيات الشد حيث يلاحظ حدوث تطابق بمنحنيات الشد بعد زمن تسخين قدره 6 hour مما يعني حدوث الاستقرار بخواص البنية، وأنه ليس من الضروري إجراء المعالجة الحرارية عند هذه الدرجة لزمن أكبر من هذا الزمن لعدم وجود جدوى عملي من استمرار المعالجة لأزمنة أكبر من 6 hour عن الدرجة °100C



الشكل (11) – منحنيات (الشد – الانفعال) بدلالة زمن المعالجة بالدرجة °C 100 لعينات من
البولي إيثلين عالي الكثافة HDPE – سماكة العيناتmm 8.7

يؤكد هذه النتيجة المنحنيات المبينة بالشكل (12) التي توضح ثبات قيم إجهاد الخضوع وإجهاد تشكل العنق وإجهاد التحطم ، وكذلك الانفعال النسبي عند الخضوع وعند نقطة تشكل العنق. فالنتائج المبينة بالشكل تظهر استقرار

هذه القيم بعد زمن معالجة قدره 6 hour وإن المجال الفعال للمعالجة وفق النظام الحراري المعتمد يقع ضمن المجال الزمني hour (6 -1).



الشكل (12) – منحنيات تغير قيم الإجهادات والانفعالات لعينات معالجة حرارياً بدرجة حرارة C° 100 سماكة العينات 7.2 mm

تظهر النتائج المبينة بالأشكال (6,8,10) بوضوح أن النظام الحراري المعتمد بالعمل التجريبي يكون ذات تأثير متباين. فعدم استقرار منحنيات القيم المميزة أثناء المعالجة الحرارية وفق النظام المعتمد بدرجات الحرارة C°(80 – 60) تظهر عدم وصول البنية الداخلية إلى حالة التحرر الكامل من الإجهادات الداخلية، وبالتالي عدم الوصول إلى حالة التجانس المطلوب الأمر الذي يفسر استمرار تحسن الخواص باستمرار التسخين، في حين تظهر المعالجة الحرارية بالدرجة C° 100 أن زمن المعالجة الفعّال الذي ينبغي البحث عنه أثناء المعالجة بهذه الدرجة يقع بين hour(6-1).

لاستقراء أثر نظام المعالجة الحرارية المعتمد في البحث بشكل دقيق على البارامترات المدروسة فإنه من الضروري رصد النسب المئوية %(K) لتحسن الخواص الميكانيكية المدروسة بدلالة النظام الزمني المستخدم بالمعالجة.

يتم حساب النسبة المئوية لتحسن إجهاد الخضوع (على سبيل المثال: عند الدرجة C° 60 خلال الفترة الزمنية بين hour 24 و hour 48) وفق العلاقة التالية:

$$K = \frac{\sigma_{y_{48}} - \sigma_{y_{24}}}{\sigma_{y_{24}}}.100,\%$$

يبين الجدول (1) النسب المئوية لتحسن الخواص حيث تمت دراسة التأثير الحراري عند الدرجتين (60- 80) C° لمدة hour 24 وذلك بعد انقضاء زمن معالجة ابتدائي مقداره hour 24. كما هو واضح أن النسب المئوية لتحسن الخواص تكون أعظم ما يمكن عند الدرجة C° 60 في حين نلاحظ انخفاض قيم التحسن بشكل واضح عند الدرجة C° 80. إن هذه النتيجة تدل بوضوح على أن تأثير الدرجة C° 60 منخفض وأنه من الضروري استخدام زمن معالجة أكبر بكثير من hour 48.

بمقارنة قيم النسب المئوية لتحسن الخواص المميزة المدروسة بين الدرجتين C°(100 – 80) يمكن أن نؤكد ضرورة استخدام أزمنة معالجة أكبر من hour 48 عند المعالجة بالدرجة C° 80 كي نحقق أصغر قيم ممكنة لهذه النسب . فالدرجة C° 100 تظهر بوضوح أن النسب المئوية للقيم، والمحسوبة ضمن المجال الزمني

hour(48-6)، صغيرة جداً ويمكن القول إنه ليس من الضروري إجراء المعالجة عند هذه الدرجة لمدة تزيد عن 6 hour لإمكانية قبول هذه القيم ضمن الخطأ التجريبي الذي يمكن حدوثه أثناء الاختبارات.

الجدول (1) – النسب المئوية لتحسن الخواص الميكانيكية المدروسة

الخواص المميزة المدروسة	S = 6.15 mm T = 60 C°			S = 6.15 mm T = 80 C°			S = 8.7 mm T = 100 C°		
	24 hour	48 hour	K,%	24 hour	48 hour	K,%	6 hour	48 hour	K,%
σ_y	16.2	20.45	26.23	18.13	19.71	8.71	33.01	33.43	1.27
σ_n	7.59	12.04	58.62	8.82	9.96	12.9	23.05	23.41	1.56
σ_b	21.29	22.58	6.05	21.91	22.9	4.51	35.03	33.58	- 4.99
ε_y	10.46	13.01	24.37	14.52	10.22	- 29.6	13.57	15.97	10.3
ε_n	34.87	33.85	- 2.9	40.62	34	- 16.2	38.5	41.21	7.03

الاستنتاجات والتوصيات:

1 – تظهر النتائج التجريبية أن المعالجة الحرارية لعينات البولي إيثلين عالي الكثافة، المقتطعة من أنابيب جلا مياه الشرب، بالدرجات C°(100-80-60) تسبب تحسناً واضحاً في القيم المميزة لمنحنيات الشد (إجهاد الخضوع σ_y – إجهاد تشكل العنق σ_n – إجهاد التحطم σ_b – الانفعال النسبي عن تشكل العنق ε_n وعند الخضوع ε_y) وهذا يدل على وجود إجهادات وانفعالات داخلية في المنتج النهائي ناتجة عن عملية التصنيع.

2 – تظهر نتائج التجارب أن المعالجة الحرارية للبولي إيثلين عالي الكثافة HDPE لمدة 48 hour في درجات الحرارة C° (80 – 60)غير كافية لتحقيق الاستقرار في القيم المميزة لمنحنيات (الشد – الانفعال)، وإن المعالجة الحرارية لمدة حتى 6 hour بالدرجة C° 100 تكفي لتحقيق الاستقرار المطلوب في هذه القيم.

3 – يدل التحسن في الخواص الميكانيكية من جراء نظام المعالجة الحرارية المتبع في البحث على حدوث تحسن على مستوى البنية الداخلية للعينات المدروسة، وعلى تحررها من الانفعالات المتبقية الناتجة عن عملية التصنيع في خط الإنتاج.

4 – إن التحسن الملحوظ للقيم المميزة لمنحنيات (الشد – الانفعال) لا يكفي عملياً لإعطاء قرار نهائي عن التغيرات المحتملة التي ستحصل في الأنابيب أثناء الاستثمار، وأنه من الضروري إجراء تجارب إضافية أخرى تتمثل في مراقبة التغيرات بالقيم الفيزيائية (التقلص الطولي – الالتواء)، الممكن حصولها خلال زمن الاستثمار، بواسطة نظام المعالجة المتبع بالبحث ومقارنتها مع قيم معتمدة في المواصفات العالمية كي نتمكن من إعطاء تقييم حقيقي لنظام التصنيع.

5 – ضرورة تطبيق المنهجية المتبعة في هذا البحث على المشاريع الحديثة التي تعتمدها استراتيجيات الدولة، والتي تهدف إلى استبدال أنابيب مياه الشرب والري المعدنية والبيتونية التقليدية بأنابيب بلاستيكية، كي نضمن عمر الاستثمار الحقيقي لهذه الأنابيب، من خلال التقييم الدقيق لمجمل التغيرات الميكانيكية – الفيزيائية المحتملة الحدوث أثناء الاستثمار.

المراجع:

1 – EDWIN, T. J – *Mechanical Properties of Solid Polymer*-Technische Universiteit Eindhoven-2005-155.

2 - LEE. M. NICHOLSON, KARN.S.WHITLY and TOMES.S.GATES –*The Combined Influence of Molecular Weight and Temperature on Aging and Viscoelastic Response of a Glassy Temperature Polyamide* - NASA/TM -2000 – 210312

3 - EVER .J .BARBERA, KEVIN .J .FORD – *Equivalent Time Temperature Model for Physical Ageing and Temperature Effects on Polymer and Relaxation* – 2004 , 271

4 - ГАНЧЕВА .Т – *Стрктура и Свойства на Констркционните Материали*—София – Техника -1982 – 280

5 – S. APONE, R. BONGIOVANNI, M. BRAGLIA, D.SCALIA, A. PRIALA - *Effect of Thermo-mechanical Treatment on HDPE Used for TLC Ducts* - Polymer Testing, 22, 2003, 275-280

6 - BERNARD. A.G. SCHRAUWEN, ROEL. P .M .JASSEN, LEON.E GOVAERT and HAN .E .H .MEIJER – *Intrinsic Deformation Behavior of Semi crystalline Polymer* – Macromolecules –37, 2004,6069 – 6078

7 - RICHARD .C, JAMES .L – *Polymer Engineering Principles- Properties , Processes , Tests for Design* – 1997,918.

8 - DOMINCK .R .V –*Plastic Processing Data Handbook* – 1998, *969.*

9 – ANDREAS LENDLEIN, STEFFEN KELCH – *Shape Memory Polymer*- Angew. Chem. Int. Ed, 41, 2002,2034-2057

10 - ГАНЧЕВА .Т – *Полимерно Материалознание на Термопластините Полимерни Матери , Бързо Кристализращи Полимери* –София – 1983 – 197.

11 – S.BAL, D. MAHESH, T.K.SEN, B.C.RAY- *Effect of Changing Environments on Microstructure of HDPE Polymer*- Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering –6, 2007, 1-16

12- ВИНОГРАДОВА .В .М, ГОЛОВКИНА .Г .С – *Практикум по Технолии Переработка Пластических Масс* – Москва, 1973, 37.

13 – К. А. МОСКАТОВ-*Термическая Обработка Платмассовых и Резиновых Деталей Машин* - Москва, Машеностроение, 1976,199.

14 – ИВАНОВ. В.С – *Радиационна Химия Полимеров* – Ленинград, Химия,1988.

15 – БАРТЕНЕВ. С. Я, ФРЕНКЕЛЬ. С. Я – *Физика Полимеров*- Ленинград, Химия,1990, 430.