



HAL
open science

Analyse de l'effet de la température sur l'évolution de la déformation plastique des polymères thermoplastiques sous le processus de Torsion sous Haute Pression

A. Draï, B. Aour

► To cite this version:

A. Draï, B. Aour. Analyse de l'effet de la température sur l'évolution de la déformation plastique des polymères thermoplastiques sous le processus de Torsion sous Haute Pression. 12e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2015, Giens, France. hal-01706201

HAL Id: hal-01706201

<https://hal.science/hal-01706201>

Submitted on 10 Feb 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

Analyse de l'effet de la température sur l'évolution de la déformation plastique des polymères thermoplastiques sous le processus de Torsion sous Haute Pression.

A. DRAÏ^{a,b}, B. AOUR^c

a. Département de Génie Mécanique, Faculté des sciences et technologies, Université de Mascara, Mascara, Route de Mamounia, Mascara, 29000, Algérie.

b. Laboratoire de Mécanique de Lille (UMR CNRS 8107), USTL, Polytech'Lille, Avenue P. Langevin, 59650 Villeneuve d'Ascq Cedex, France. E-mail address: draiahmed14@yahoo.fr

c. Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux, Département de Génie Mécanique, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran, BP1523 El'Mnaour Oran, 31000, Algérie.

Résumé

La torsion sous haute pression (HPT : High Pressure Torsion) est un processus de déformation superplastique très efficace pour obtenir des nanomatériaux avec des propriétés mécaniques très performantes. En vue de son optimisation, il est d'une importance primordiale d'évaluer les relations entre le comportement du matériau sous l'effet de la variation de la température d'un coté et des paramètres opératoires du processus d'un autre coté. Dans ce contexte, ce présent travail a pour objectif de mettre en évidence la distribution de la déformation plastique dans le matériau déformé en fonction des différents paramètres du processus, à savoir, les effets de l'enchaînement des différentes phases, de la pression hydrostatique exercée, de l'angle de torsion et de la température du matériau appliquée au cours du processus. Un polymère thermoplastique typique (polyéthylène à haute densité (PEHD)) à été testé. À cette fin, les paramètres des matériaux d'un modèle phénoménologique élasto-viscoplastique ont été déduites à partir des essais de compression à différentes températures et vitesses de déformation. Ensuite, les distributions de la déformation plastique effective, de la vitesse de déformation plastique équivalente et de la contrainte hydrostatique ont été analysées par éléments finis. Des recommandations sur les conditions de processus ont été proclamées selon les résultats numériques obtenus.

Mots-clés: HPT; Eléments finis; Polymères ; Modélisation ; Déformation plastique.

1. Introduction

La technique de Déformation Plastique Intensive ou Déformation Plastique Sévère (severe plastic deformation : SPD), est devenu une méthode reconnue dans le traitement des matériaux. Depuis les expériences pilotes de Bridgman en 1952, sur un processus qui consiste à combiner la torsion avec la compression pour créer des déformations de cisaillement, les progrès dans le domaine ont été fortement liés au développement de la technique de super déformation plastique. Depuis ces premiers travaux, un intérêt considérable a été donné au traitement des matériaux par SPD afin de conférer au matériau une ténacité très élevée en produisant une microstructure ultrafine [1].

Parmi les procédés de SPD qui ont connus plus de production scientifique dans la littérature, on trouve l'extrusion angulaires à canaux égaux (ECAE : Equal Channel Angular Extrusion) et le processus de torsion sous haute pression (HPT : High Pressure Torsion). Le premier implique l'extrusion d'une pièce à travers d'une filière qui se compose de deux canaux de même section se croisant à un angle généralement compris entre 90° et 135° [2]. Le deuxième, qui représente l'objet de ce présent travail, consiste à mettre un échantillon en forme de disque sous l'action simultanée d'une forte compression et torsion, en utilisant deux enclumes comme illustre la figure 1. Des données antérieures expérimentales sur des matériaux métalliques ont prouvées que le HPT est plus efficace que l'ECAE pour produire des grains de tailles exceptionnellement faibles [3,4]. Par contre, pour le cas des matériaux polymères, le processus d'ECAE a connu certain développements qui ont permit de mettre en évidence le cisaillement plastique du matériau extrudé [5-6]. Mais pour le cas du HPT, à ce jour des études très limitées ont été consacrées pour évaluer le potentiel de ce processus sur l'orientation de la microstructure [7]. Par conséquent, une analyse plus détaillé de l'application du processus HPT parait être très prometteuse pour l'amélioration des propriétés mécaniques des polymères par super déformation plastique. En effet, le processus HPT est très simple à mettre en œuvre vu que seulement deux principaux paramètres doivent être pris en considération : (i) la pression imposée (compression) et (ii) le nombre de tours appliqués sur l'échantillon.

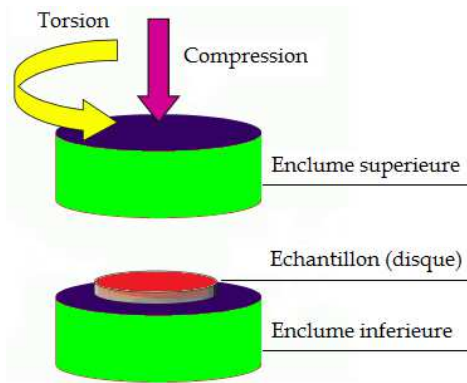


Fig. 1. Schéma représentatif du processus HPT.

Afin de mettre le point sur l'homogénéité de la distribution de la déformation plastique dans l'échantillon au cours du processus HPT, la méthode des éléments finis paraît être un outil incontournable pour quantifier avec précision le déplacement, la déformation et la contrainte à n'importe quel point de l'échantillon [8,9]. Dans cette étude, une analyse par éléments finis tridimensionnels du comportement élasto-viscoplastique d'un polymère thermoplastique (polyéthylène à haute densité (PEHD)) a été menée. L'accent est mis sur l'effet de la température, du matériau déformé et du scénario du processus sur le comportement des matériaux. Une attention particulière est portée sur l'analyse de l'hétérogénéité de la distribution de déformation plastique pour comprendre le phénomène et optimiser les conditions opératoires du processus HPT.

2. Modèle constitutif

Afin d'étudier le comportement du polymère pendant le processus de HPT, la dépendance de la vitesse de déformation et d'écroutissage doivent être pris en compte dans les équations constitutives [10,11]. Dans cette partie, un modèle phénoménologique de comportement basée sur la loi d'écoulement de Norton-Hoff a été appliqué [12]. Ce modèle est basé sur la décomposition additive du tenseur de vitesse de déformation en une partie élastique et une partie visco-plastique.

3. Identification de la loi du comportement par essais de compression

3.1. Matériaux utilisés

Deux polymères semi-cristallins (polyéthylène à haute densité PEHD) ont été sélectionnés pour cette étude. Ces matériaux sont fournis par la société Goodfellow avec les propriétés mécaniques indiquées dans le Tableau 1. Le choix du polyéthylène est basé sur trois considérations :

- ils conservent un comportement ductile à haute vitesse de déformation ;
- ils nous ont permis de suivre facilement l'évolution des microstructures (phases cristallines et amorphes) lors de la déformation ;
- ils sont faciles à mettre en œuvre (déformer plastiquement) à température ambiante.

Les essais de compression ont été réalisés sur des échantillons cylindriques de 8mm (diamètre) × 16mm (longueur) à différentes températures (25, 40, 60 et 80 ° C) et des différentes vitesses de déformation (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} et 10^{-5} s⁻¹).

Propriétés mécaniques	PEHD
Densité (g cm ⁻³)	0.95
Coefficient de frottement	0.29
Dureté - Rockwell	D60-73
Résistance au choc Izod	20-210
Coefficient de Poisson	0.46
module de traction	0.5-1.2
résistance à la traction	15-40

Tableau. 1. Propriétés mécaniques du polyéthylène à haute densité PEHD.

3.2. Identification de la loi de comportement

Les essais expérimentaux ont été effectués sur une machine d'essai électromécanique (Instron[®] 5800) avec une cellule de charge de 10 KN à des températures différentes (24±1 °C (température ambiante), 40 °C, 60 °C et 80°C)) et pour des vitesses de déformation constantes allant de 10^{-5} à 10^{-1} /s. En notant que les plaques de la

machine d'essai ont été bien lubrifiées afin que l'effet de frottement au niveau des surfaces de contact avec l'échantillon soit négligeable. Lors des tests, les valeurs de déplacement, l'effort et le temps ont été enregistrées par l'ordinateur en utilisant le logiciel Bluehill.

Les équations constitutives présentées dans la section précédente ont été utilisées pour prédire le comportement non-linéaire du PEHD aux grandes déformations. En plus du module de Young et le coefficient de Poisson, les équations constitutifs contient quatre paramètres à déterminer: K , n , m et h . L'identification des paramètres a été effectuée à l'aide de la méthode des moindres carrés en utilisant une régression linéaire. Le module de Young E du PEHD a été déduit directement de la pente de la partie linéaire initiale des courbes contraintes-déformations, alors que le coefficient de Poisson a été pris égal à 0,38. Le tableau 2 présente les valeurs des paramètres matériaux obtenus après identification pour différentes températures.

T	E	K	n	h	m
°C	MPa	MPa	-	MPa	-
25	500	31.2	7.8	3.15	0.88
40	280	20	8.3	5	0.7
60	150	10.7	10.2	5.5	0.65
80	130	5.7	11.17	6	0.45

Tableau 2. Les paramètres du matériau (PEHD) à différentes températures.

4. Simulation par éléments finis du processus HPT

Le matériau de l'échantillon utilisé pour la simulation du processus HPT est un polyéthylène à haute densité (PEHD), dont le comportement est illustré ci-dessus. Les simulations ont été exécutées en utilisant le code d'éléments finis MSC.Marc, avec un maillage de 34992 éléments finis à 37921 nœuds. Il est à noter que la taille du maillage utilisé est largement suffisante pour montrer avec exactitude la distribution des déformations localisées à l'intérieur des échantillons. L'échantillon utilisé est un disque cylindrique plein de 20 mm de diamètre et 10 mm d'épaisseur (Fig. 2). Les enclumes supérieure et inférieure ont été prises comme étant des corps rigides dans la modélisation.

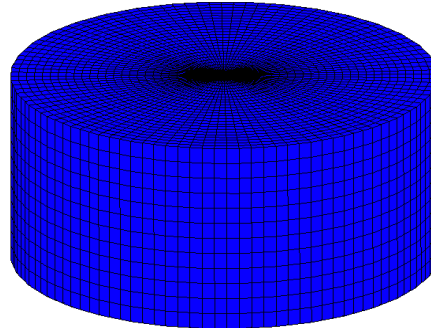


Fig. 2. Discrétisation par éléments finis d'un échantillon cylindrique (disque).

4.1. Effet de l'enchaînement des phases du processus

Dans la plupart des cas pratiques, on peut distinguer deux principaux scénarios pour effectuer le processus de HPT. Le premier (scénario 1) consiste à appliquer une compression suivi par une torsion en utilisant l'enclume supérieure. Dans le second (scénario 2), l'échantillon est soumis à la compression - torsion d'une manière simultanée. Afin de mettre en évidence lequel des procédés nous permettent d'obtenir une grande déformation plastique, une simulation par éléments finis en utilisant les deux scénarios a été menée.

4.2. Effet de la température

Le comportement des polymères dépend fortement de la température. Ils sont le siège de transitions de comportement qui peuvent être associées aux différentes relaxations moléculaires, i.e. activation de changements de conformations locales. Du point de vue macroscopique cela se traduit par des évolutions de comportement plus brutales pour certaines gammes de température. Pour étudier la dépendance du comportement des polymères au cours du processus HPT sous l'effet de la température, une série de calculs numériques dans des conditions isothermes a été réalisée sur un polyéthylène à haute densité en faisant varier la température de 25 °C à 80 °C. Un déplacement vertical de 2,50 mm avec une vitesse de 2,50 mm/s puis une rotation de 30° avec une vitesse angulaire de 0,2618 rad/s ont été appliqués sur l'enclume supérieure.

4. Conclusion

Dans cette modélisation numérique, les résultats de l'analyse de l'effet de la température sur le comportement d'un polyéthylène à haute densité au cours du processus HPT ont été présentés. Les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Le premier scénario qui consiste à appliquer une compression suivi par une torsion donne des résultats meilleurs que ceux du second scénario où la compression et la torsion sont appliquées simultanément.
- La déformation plastique équivalente diminue avec l'augmentation de la température et augmente en s'éloignant du centre de l'échantillon.
- Une analyse expérimentale du processus est incontournable afin de confirmer les résultats présentés et de mettre en évidence l'évolution des propriétés mécaniques et l'aspect d'orientation de la microstructure des matériaux en HPT et un travail dans ce sens est en cours d'investigation.

Remerciements

Le soutien et la prise en charge de Laboratoire Mécanique de Lille, (France), pour terminer ce travail. Les auteurs remercient tout particulièrement les professeurs. Moussa Nait-Abdelaziz et Jean-Michel Gloaguen et le Dr. Fahmi Zaïri de Polytech'Lille, pour leurs aides dans les essais de compression et d'identification des paramètres.

References

- [1] Valiev RZ, Islamgaliev RK, Alexandrov IV. Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation. *Prog Mater Sci* 2000;45:103-189.
- [2] Segal VM, Reznikov VI, Drobyshvskiy AE, Kopylov VI. Plastic working of metals by simple shear. *Russ Metall (English translation)* 1981;1:99-105.
- [3] Horita Z, Smith DJ, Furukawa M, Nemoto M, Valiev RZ, Langdon TG. Evolution of grain boundary structure in submicrometer-grained Al-Mg alloy. *J Mater Res* 1996;11:1880-90.
- [4] Iwahashi Y, Horita Z, Nemoto M, Langdon TG. The process of grain refinement in equal-channel angular pressing. *Acta Mater* 1998;46:3317-3331.
- [5] Xia Z, Sue HJ, Rieker TP. Morphological evolution of PET during equal channel angular extrusion process. *Macromolecules* 2000;33:8746-8755.
- [6] Zaïri F, Aour B, Gloaguen JM, Naït-Abdelaziz M, Lefebvre JM. Steady plastic flow of a polymer during ECAE process: experiments and numerical modeling. *Polym Eng Sci* 2008:1015-1021.
- [7] Draï A, Aour B. Analysis of plastic deformation behavior of HDPE during high pressure torsion process. *Engineering Structures* 46 (2013) 87–93.
- [8] Kim HS, Hong SI, Lee YS, Dubravina AA, Alexandrov IV. Deformation behavior of copper during a high pressure torsion process. *J Mater Process Technol* 2003;142:334-337.
- [9] Yoon SC, Horita Z, Kim HS. Finite element analysis of plastic deformation behavior during high pressure torsion processing. *J Mater Process Technol* 2008;201:32-36.
- [10] Tervoort TA, Smit RJM, Brekelmans WAM, Govaert LE. A constitutive equation for the elasto-viscoplastic deformation of glassy polymers. *Mech Time-Depend Mater* 1998;1:269-291.
- [11] Boyce MC, Socrate S, Llana PG. Constitutive model for the finite deformation stress-strain behavior of poly(ethylene terephthalate) above the glass transition. *Polym* 2000;41:2183-2201.
- [12] Aour B, Zaïri F, Gloaguen JM, Naït-Abdelaziz M, Lefebvre JM. Finite element analysis of plastic strain distribution in multi-pass ECAE process of high density polyethylene. *J Manuf Sci Eng ASME* 2009;131(3):031016-11.