



HAL
open science

Détermination du coefficient de frottement par analyse inverse pour l'étirage de tube

Muriel Palengat, Olivier Guiraud, Christophe Millet, Grégory Chagnon, Denis Favier

► To cite this version:

Muriel Palengat, Olivier Guiraud, Christophe Millet, Grégory Chagnon, Denis Favier. Détermination du coefficient de frottement par analyse inverse pour l'étirage de tube. Mecmat, Jan 2008, Aussois, France. hal-01978986

HAL Id: hal-01978986

<https://hal.science/hal-01978986>

Submitted on 12 Jan 2019

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.

DETERMINATION DU COEFFICIENT DE FROTTEMENT PAR ANALYSE INVERSE POUR L'ETIRAGE DE TUBE

M. Palengat, O. Guiraud, C. Millet *Minitubes*, zac Technisud, 21 rue J. Vaujany, 38100 Grenoble.
Téléphone : 04 56 52 86 37, Télécopie : 04 76 82 70 43 Adresse(s) électronique(s) :
mpalengat@minitubes.com, olivier.guiraud@hmg.inpg.fr, cmillet@minitubes.com

G. Chagnon et D. Favier, *Sols Solides Structures*, UMR CNRS 5521, Université de Grenoble,
BP 53, 38041 Grenoble cedex 9. Téléphone : 04 76 82 70 85, Télécopie : 04 76 82 70 43
Adresse(s) électronique(s) : gregory.chagnon@hmg.inpg.fr, denis.favier@hmg.inpg.fr

Mots clés : Etirage de tube, Coefficient de frottement, Analyse inverse, Elements-finis, Résultats expérimentaux

1. INTRODUCTION

La société Minitubes SA est spécialiste du tube de précision et des composants tubulaires au service des applications les plus exigeantes. Le procédé de mise en forme des tubes est l'étirage. L'étirage de tube est un procédé dans lequel un tube est étiré à travers une filière conique convergente. Des tubes à parois minces sont fabriqués par ce procédé d'étirage, en réduisant progressivement les diamètres intérieurs et extérieurs en même temps que l'épaisseur. Dans la plupart des cas, les industriels développent empiriquement leurs productions, mais cette technique est très coûteuse en temps et en énergie.

C'est pourquoi les méthodes numériques sont de plus en plus utilisées. Cependant de nombreux paramètres sont inconnus et leur identification n'est pas toujours simple (Palengat, 2007). C'est le cas du coefficient de frottement, dont le rôle dans le procédé d'étirage est important. La plupart des études sur l'étirage de tube (Karnezis et Farrugia, 1998) ne justifie pas le coefficient utilisé. Seuls Lazzarato *et al* (1997) ont cherché à déterminer directement ce coefficient expérimentalement, à l'aide d'un test reproduisant les conditions de tréfilage.

Dans ce travail, nous étudions l'étirage à froid de tubes en acier inox 316LVM de petits diamètres (1-6 mm). Une détermination du coefficient de frottement par une analyse inverse a été réalisée à partir des données thermiques et mécaniques enregistrées lors d'étirages. Par la suite, une première partie sera consacrée aux expériences réalisées. Ensuite, le modèle utilisé ainsi que l'analyse inverse seront détaillées. Enfin, grâce aux coefficients trouvés par l'analyse, d'autres simulations seront comparées aux essais d'étirage.

2. EXPERIENCES

Dans cette section, les expériences d'étirage et les essais qui permettent de déterminer le comportement du matériau sont présentés.

2.1 Essais d'Etirage

Des étirages à creux ont été réalisés en industrie. Il s'agit de faire passer un tube dans une filière pour réduire sa section. La figure 1 décrit le procédé et les différents capteurs utilisés. Tout d'abord, trois capteurs d'efforts positionnés entre le bâti et la filière enregistrent la force d'étirage. Ensuite, deux autres capteurs enregistrent les données thermiques. D'une part, un pyromètre placé à quelques centimètres de la sortie de la filière enregistre l'évolution de la température de la surface extérieure du tube. D'autre part, un thermocouple est collé à l'intérieur du tube et permet de connaître la température intérieure.

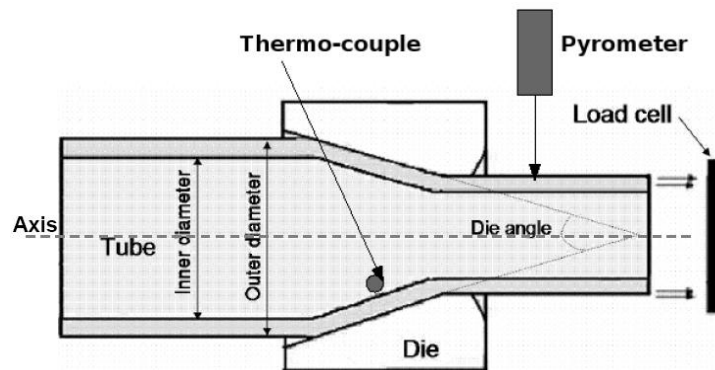


Figure 1. Procédé d'étirage à creux

2.2 Essais de Caractérisation du Matériau

Le matériau étudié est un acier inoxydable 316LVM. D'une part, afin de définir une loi de comportement, des essais de traction sur tube et des essais de cisaillement, développé par P.Y. Manach (1997) sur tube « déroulé » ont été réalisés (cf. figure 2). Pendant le procédé d'étirage, la vitesse de déformation du matériau atteint des valeurs proches de 100 s^{-1} . En regard de ces très fortes vitesses de déformation, on peut supposer que des essais de traction et de cisaillement « quasi-statiques » sont insuffisants. Afin de tester l'influence de la vitesse de déformation sur le comportement du matériau, les essais de cisaillement ont été réalisés à différentes vitesses.

D'autre part, des essais ont été réalisés pour connaître les propriétés thermiques de ce matériau. Tout d'abord, le pyromètre a été calibré pour trouver l'émissivité du 316LVM. Ensuite, le refroidissement d'un tube dans l'air ambiant a été enregistré avec un thermocouple pour déterminer le coefficient de convection.

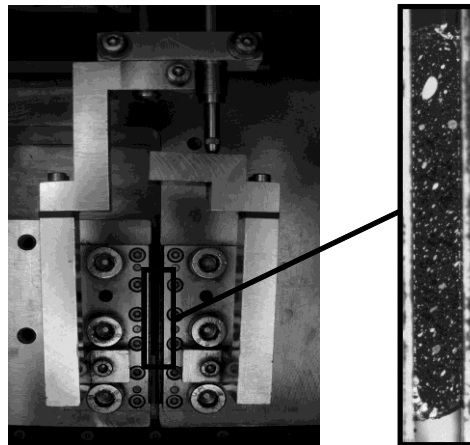


Figure 2. Essai de cisaillement

3. MODELISATION

3.1 Modèle

Le code éléments-finis utilisé dans cette étude est Abaqus 6.6. Le modèle axisymétrique est composé d'éléments à 8 noeuds couplés thermomécaniquement. Le problème est fortement non-linéaire du fait des grandes déformations et des contacts. De plus, la lubrification est supposée homogène et le contact est modélisé par un coefficient de Coulomb constant.

3.2 Propriétés des Matériaux

3.2.1 316LVM : Le comportement du 316LVM est supposé élastoviscoplastique et indépendant de la température. La partie viscoplastique est modélisé par la loi de Johnson-Cook modifiée (1):

$$\sigma_{eq} = (A + B\varepsilon_{eq}^n) \left(1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}_{eq}}{\dot{\varepsilon}_{eq}^0} \right) \right) \quad (1)$$

Où σ_{eq} la contrainte effective, ε_{eq} la déformation plastique effective, $\dot{\varepsilon}_{eq}$ la vitesse de déformation effective, $\dot{\varepsilon}_{eq}^0$ la vitesse de déformation de référence, A, B, C et n sont les paramètres matériels.

La conductivité, la densité et la chaleur spécifique sont issues des données de la littérature.

3.2.2 WC : La filière est en carbure de tungstène (WC) et son comportement est supposé élastique.

3.3 Conditions Initiales et aux Limites

Les conditions aux limites sont schématisées sur la fig. 3. La filière est encastrée et le tube est étiré à vitesse constante. Le tube subit des pertes thermiques par convection sur toute sa surface. Initialement, la filière et le tube sont à 20°C.

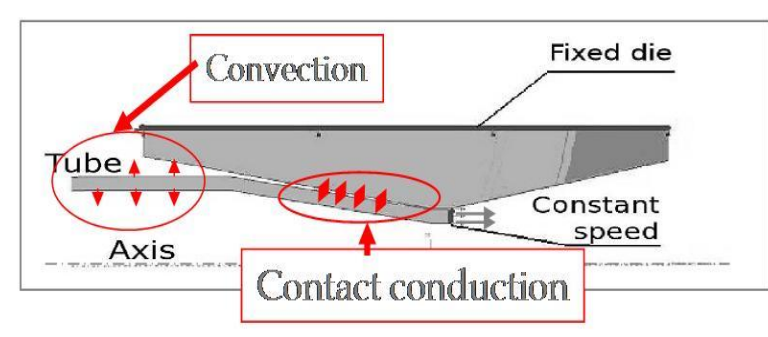


Figure 3. Conditions initiales et aux limites

4. ANALYSE INVERSE

On cherche à déterminer le coefficient de frottement, mais aussi la conductivité au niveau du contact et la fraction d'énergie plastique dissipée en chaleur. D'un point de vue mécanique, le coefficient de frottement influe uniquement sur la force d'étirage. D'un point de vue thermique, il y a deux sources de chaleur : l'élévation de température due à la déformation plastique et celle due au contact.

L'étude portant sur l'étirage à creux, il n'y a pas de frottement à l'intérieur du tube. La température mesurée par le thermocouple est exclusivement due à la déformation plastique. Ensuite, le coefficient de frottement est déterminé par la force d'étirage. Finalement, il reste deux paramètres pour la température extérieure : la conductivité au contact et le coefficient de frottement qui est fixé par la force d'étirage. On peut donc connaître la conductivité tube/filière.

Ainsi, la méthode itérative suivante est utilisée (schématisée sur la figure 4) :

- Une première simulation de l'étirage à creux est effectuée
- La force d'étirage, les températures extérieure et intérieure sont relevées.
- Ces grandeurs sont comparées aux valeurs expérimentales
- Si la température interne numérique est inférieure à l'essai, on augmente la fraction d'énergie plastique dissipée en chaleur
- Si la force d'étirage numérique est inférieure à l'essai, on augmente le coefficient de frottement et inversement.
- Si la température extérieure est incorrecte, la conductivité thermique entre la filière et le tube est modifiée.

Le calcul est relancé avec les nouveaux paramètres jusqu'à obtenir des valeurs numériques égales aux valeurs d'essai.

Grâce à cette analyse, les valeurs suivantes de paramètres ont été obtenues :

- Coefficient de frottement = 0,05
- Conductivité thermique entre la filière et le tube = $0,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Fraction d'énergie plastique dissipée en chaleur = 0,5

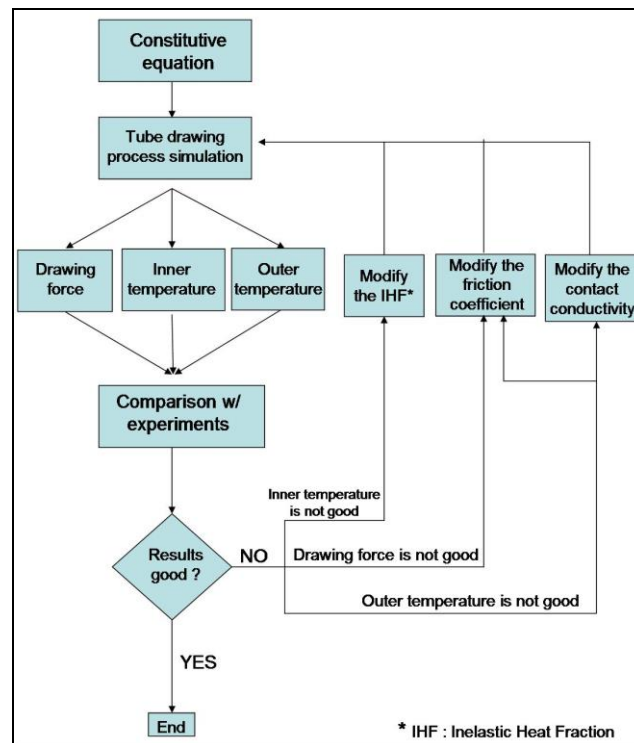


Figure 4. Méthode de l'analyse inverse

5. CONCLUSION

Finalement, cette analyse permet de déterminer tous les paramètres nécessaires pour le modèle thermomécanique. D'autres essais ont été simulés pour vérifier la validité des paramètres trouvés et les résultats sont concluants. Cette méthode, testée ici avec le 316LVM, doit être appliquée à d'autres matériaux.

REFERENCES

- Karnezis P. & Farrugia D. C. J., "Study of cold tube drawing by finite-element modeling", *J. Mater. Process. Technol.*, **80-81**, (1998) pp. 690-694.
- Lazzarato L., Dubar L., Dubois L., Ravassard P. et Oudin J., "Identification of Coulomb's friction coefficient in real contact conditions applied to a wire drawing processes", *Wear*, **221**,(1997), pp. 54-63.
- Manach P.Y. & Favier D., "Shear and tensile thermomechanical behaviour of near equiatomic NiTi alloy", *Materials Science and Engineering*, A222 (1997) pp. 45-57
- Palengat M., Guiraud O., Chagnon G., Millet C. et Favier D., "Tube drawing process modelling by a finite element analysis", *MPMD 2007*, Palm Desert (California - USA) - 23-25 septembre 2007 - 2007