HAL open science

Simulation multi-échelle du skin-pass des aciers IF : Prédiction de la texture de déformation et du comportement mécanique

Komi Soho, Xavier Lemoine, Farid Abed-Meraim, Hamid Zahrouni

To cite this version:

Komi Soho, Xavier Lemoine, Farid Abed-Meraim, Hamid Zahrouni. Simulation multi-échelle du skin-pass des aciers IF : Prédiction de la texture de déformation et du comportement mécanique. 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-01232750

HAL Id: hal-01232750

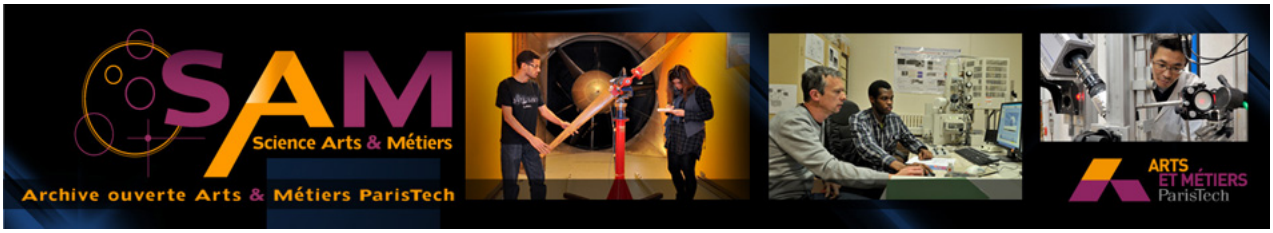
https://hal.science/hal-01232750

Submitted on 22 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.

Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers ParisTech researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: http://sam.ensam.eu
Handle ID: .http://hdl.handle.net/10985/10436

To cite this version :

Komi SOHO, Xavier LEMOINE, Farid ABED-MERAIM, Hamid ZAHROUNI - Simulation multi-échelle du skin-pass des aciers IF : Prédiction de la texture de déformation et du comportement mécanique - In: 22ème Congrès Français de Mécanique, France, 2015-08-24 - Actes du 22ème Congrès Français de Mécanique - 2015

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository Administrator : archiveouverte@ensam.eu

Simulation multi-échelle du skin-pass des aciers IF : Prédiction de la texture de déformation et du comportement mécanique

K. SOHO[a], X. LEMOINE[b], F. ABED-MERAIM[b], H. ZAHROUNI[a]

a. LEM3-Labex DAMAS, Université de Lorraine + {komi.soho, hamid.zahrouni}@univ-lorraine.fr
b. LEM3, Arts et Métiers Paris-Tech + {xavier.lemoine, farid.abed-meraim}@ensam.eu

Résumé :

L'objectif principal de cette étude est de prédire la texture la texture de déformation et le comportement mécanique des aciers IF au cours du procédé de laminage des produits plats à faible taux de réduction. Un modèle basé sur l'homogénéisation autocohérente du comportement élastoplastique du monocristal est adopté pour modéliser le comportement de l'acier. Afin de réduire les temps de calcul dans la simulation multi-échelle, une procédure simplifiée est adoptée pour coupler le code de simulation numérique LAM3 au modèle de comportement basé sur la micromécanique

Mots clefs : plasticité cristalline, homogénéisation autocohérente, skin-pass, texture de déformation

1 Introduction

Bien que couramment utilisés pour la simulation numérique des procédés de mise en forme, les codes de calcul par éléments finis traditionnels et commerciaux ont plusieurs limitations. Certaines de ces limitations sont essentiellement dues aux lois de comportement qui sont phénoménologiques ne permettant pas de rendre compte des mécanismes physiques de plasticité qui ont lieu à des échelles plus fines ainsi que de l'évolution de la microstructure du matériau. Pour surmonter certaines de ces limitations, une méthode alternative serait de coupler les codes de calcul par éléments finis avec des modèles de comportement du matériau basés sur la micromécanique.

Dans la littérature, il existe plusieurs modèles de comportement des matériaux basés sur la plasticité cristalline. Ces modèles sont utilisés comme lois de comportement dans la simulation numérique des procédés de mise en forme et dans la simulation numérique des agrégats polycristallins (voir [1]). Ces modèles ont l'avantage de pouvoir modéliser le comportement du matériau à partir de considérations physiques liées à sa microstructure. L'inconvénient de cette méthode est que chaque point de Gauss du calcul par éléments finis est représenté par une loi de comportement du monocristal; ce qui du point de vue physique n'est pas représentatif de la texture initiale réelle du matériau.

Le développement des moyens de calcul informatiques a permis l'utilisation des modèles polycristallins dans les codes de calcul par la méthode des éléments finis (voir [2], [3]). Les modèles polycristallins ont l'avantage de fournir une réponse élastoplastique en général plus fiable que celle des modèles phénoménologiques en raison du caractère physique de la démarche suivie. Ils ont aussi l'avantage de fournir les réponses locales obtenues dans chaque grain du polycristal. Ces informations sont précieuses par exemple pour la construction des modèles d'endommagement qui doivent être basés sur des variables de l'échelle où s'amorce la rupture ou pour la simulation des modèles de recristallisation. Malgré tous les avantages que présente l'utilisation des modèles polycristallins dans les calculs par éléments finis, ces modèles sont très lourds et requièrent le traitement d'une masse importante de données, ce qui entraîne un temps de calcul très élevé.

Nous proposons dans ce papier une procédure simplifiée (voir [4]) qui consiste à découpler la méthode des éléments finis et le modèle polycristallin, ce qui permet une réduction du temps de calcul.

Cette technique sera utilisée dans la simulation multi-échelle du procédé de skin-pass. Le suivi de certains trajets de déformation, sélectionnés au cours du procédé, permettra de prédire l'évolution des grandeurs physiques associées au modèle de plasticité, telle que la texture cristallographique, texture morphologique, énergie stockée, etc…

2 Modèle de comportement

Pour modéliser le comportement du monocristal, les hypothèses suivantes ont été adoptées :

- Le calcul se fait dans le cadre des grandes déformations et les équations sont écrites en lagrangien réactualisé.

- La déformation plastique est uniquement due au glissement des plans cristallographiques. Les autres modes de déformation tels que le maclage ou la transformation de phase ne sont pas pris en compte.

- Le comportement est élastoplastique, donc ne dépend pas du temps physique.

- Le lien entre le gradient des vitesses $\mathbf{g}$ et le taux de la contrainte nominale $\dot{\mathbf{n}}$ est donné par la relation (1)

$$\dot{\mathbf{n}} = \mathbf{l} : \mathbf{g} \tag{1}$$

La modélisation du comportement de l'agrégat polycristallin à partir de celle des grains individuels est effectuée à partir du schéma de transition d'échelle autocohérent. La loi de comportement macroscopique reliant le gradient de vitesse macroscopique $\mathbf{G}$ au taux de contrainte nominale macroscopique $\dot{\mathbf{N}}$ est définie par la relation (2).

$$\dot{\mathbf{N}} = \mathbf{L} : \mathbf{G} \tag{2}$$

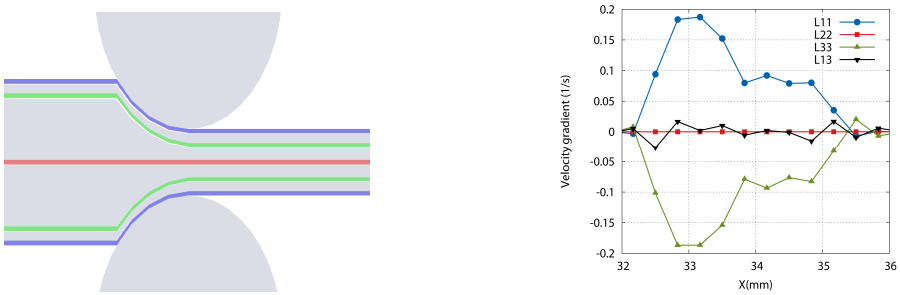
Le calcul du module tangent local $\mathbf{l}$ et macroscopique $\mathbf{L}$ est détaillé dans les travaux de Berveiller *et al.* [5].

3. Algorithme du couplage du modèle polycristallin avec le code de simulation numérique LAM3

La première étape du calcul consiste à effectuer un calcul de structure avec un modèle macroscopique classique. Dans le cas de notre travail, nous avons fait la simulation numérique du procédé de skin-pass dans LAM3 avec un modèle de plasticité isotrope de type Von Mises.

La seconde étape consiste à sélectionner le ou les points qui semblent critiques en termes de contraintes ou de déformations maximales atteintes. Dans notre cas, c'est sur des lignes de courant prises dans l'épaisseur de la tôle (représentées en trait rouge sur la figure 1-a) que nous allons récupérer les gradients de vitesse macroscopique (voir la figure 1-b).

La troisième étape consiste à utiliser l'histoire de déformation obtenue dans le premier calcul comme entrée du modèle polycristallin.



a) b)

Figure 1 – a) Position des lignes de courant dans l'épaisseur de la tôle, b) Evolution du gradient de vitesse le long de la direction de laminage

4. Quelques résultats

Nous avons utilisé la méthode précédemment décrite pour réaliser la prédiction de l'évolution de la texture de déformation pour différents taux de réduction dans la simulation numérique du skin-pass. La figure 2 montre une comparaison quantitative des résultats expérimentaux et de simulation pour la fonction de distribution des orientations (ODF) de la fibre alpha et gamma.

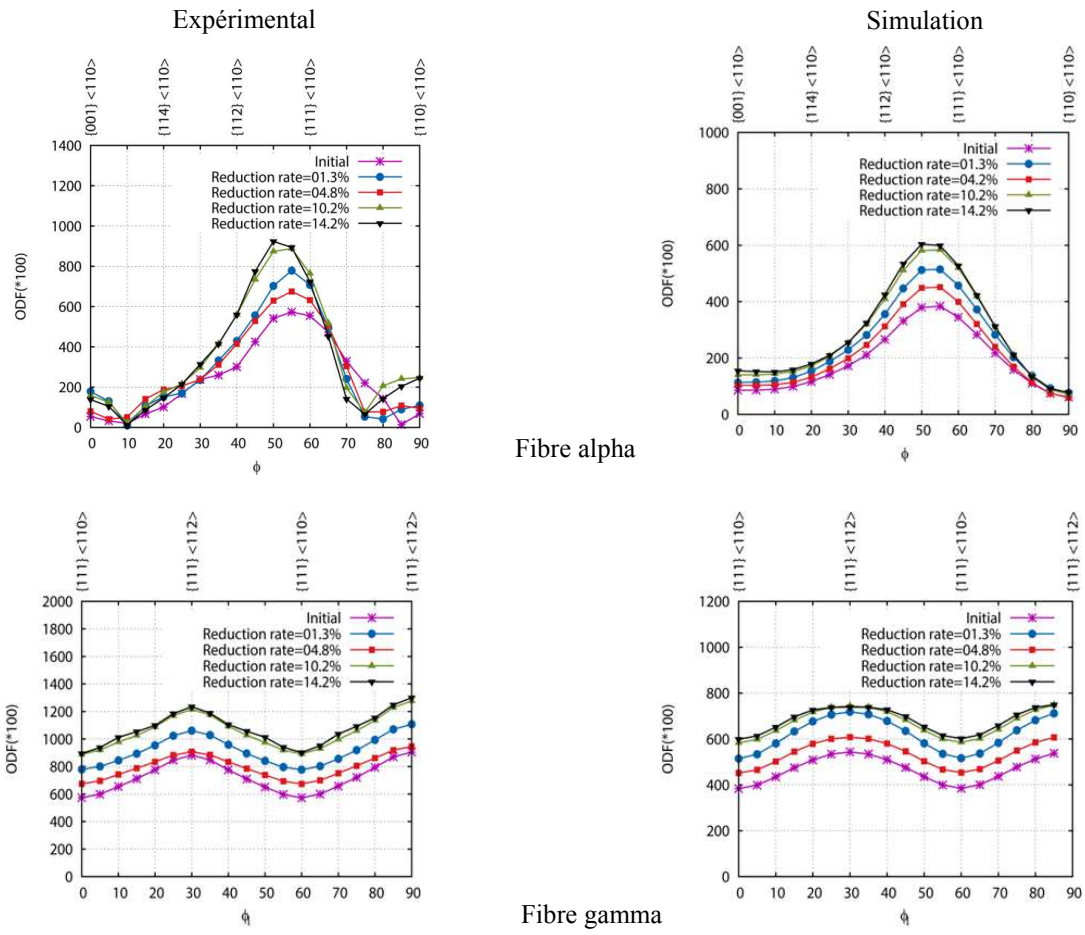


Figure 2 – Evolution de la fonction de distribution des orientations (ODF) des résultats expérimentaux et de simulation de la fibre alpha et gamma pour différents taux de réduction

Cette méthode nous a permis aussi réalisé la prédiction du comportement macroscopique du matériau en trajets complexes. La figure 3 montre des courbes de traction (0°/DL, 45°/DL, 90°/DL) du matériau prédéformé en skin-pass. Nos résultats de simulations sont en bon accord avec des résultats expérimentaux.

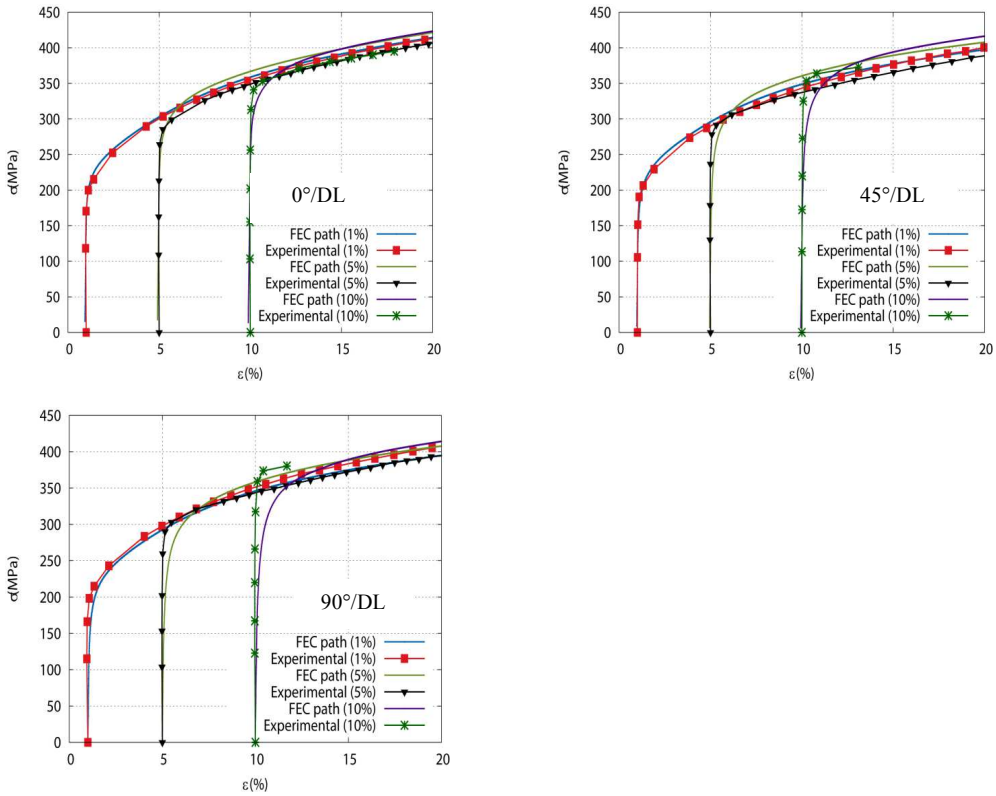


Figure 3 – Comparaison des courbes de traction expérimentales et simulées « FEC path » du matériau prédéformé en laminage

Références

[1] A. Zamiri, F. Pourboghrat, An effective computational algorithm for rate-independent crystal plasticity based on a single crystal yield surface with an application to tube hydroforming, Int. J. Plast. 23 (2007) 1126–1147.

[2] Y. Guan, F. Pourboghrat, Finite element modeling of tube hydroforming of polycrystalline aluminum alloy extrusions, Int. J. Plast. 22 (2006) 2366–2393.

[3] J. Segurado, R.A. Lebensohn, J. Llorca, C.N. Tomé, Multiscale modeling of plasticity based on embedding the viscoplastic self-consistent formulation in implicit finite elements, Int. J. Plast. 28 (2012) 124–140.

[4] K.-H. Jung, D.-K. Kim, Y.-T. Im, Y.-S. Lee, Prediction of the effects of hardening and texture heterogeneities by finite element analysis based on the Taylor model, Int. J. Plast. 42 (2013) 120–140.

[5] P. Lipinski, M. Berveiller, E. Reubrez, J. Morreale, Transition theories of elastic-plastic deformation of metallic polycrystals, Arch. Appl. Mech. 65 (1995) 291–311.