MINES PARIS | PSL | Cemef

TotalEnergies

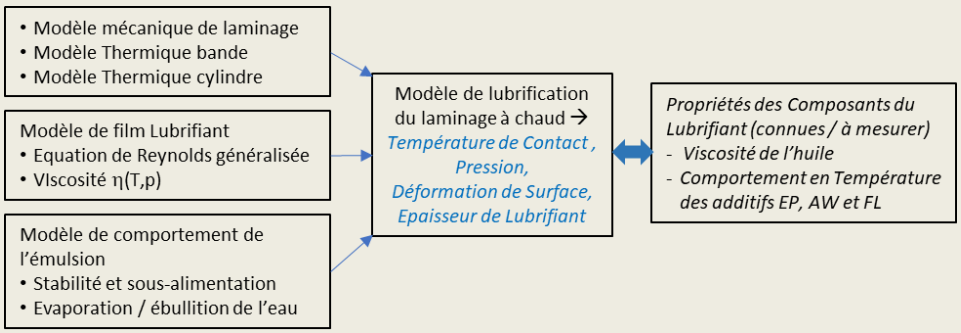
Offre de Post doctorat-2 ans

Modélisation bi-échelle de la lubrification mixte / limite en laminage à chaud d'alliages d'aluminium

Objectif général

Développer un modèle numérique prédictif du frottement tôle-cylindres lors du procédé de laminage à chaud de tôles, destiné à guider la formulation des lubrifiants de laminage à chaud d'alliages légers.

Fondé sur l'analyse des mécanismes micro-physiques, ce modèle déterminera des grandeurs tribologiques décisives (épaisseur de lubrifiant, température et pression de contact…). Elles seront à comparer aux conditions critiques d'efficacité des familles d'additifs bien connues : température de désorption de limiteurs de frottement, température de réaction d'additifs extrême-pression...



Contexte

Les travaux seront menés dans le cadre d'un partenariat avec TotalEnergies ONE TECH - Centre de Recherche de Solaize (69) – France. TotalEnergies formule des lubrifiants de mise en forme des métaux.

Présentation détaillée

La lubrification joue un rôle majeur dans les procédés de mise en forme des métaux tels que le laminage à chaud des alliages légers. L'évolution constante des réglementations pousse les formulateurs à se tourner vers des composants plus respectueux de l'environnement. Leur choix se restreignant, il est d'autant plus important de les choisir judicieusement, selon des critères « objectifs » tels que les températures et pressions de contact atteintes. Ainsi, il est nécessaire de (1) développer un modèle pour prédire le frottement ainsi que la pression et la température atteintes, et (2) les comparer aux intervalles de pression et de température dans lequel chaque type d'additif potentiel est efficace.
C'est ce point (1) qui fera l'objet du travail du post-doctorat. Le second fait appel soit à des données connues, soit à des campagnes d'essais tribologiques qui seront à réaliser en parallèle ou postérieurement aux travaux.

Prédire le frottement en laminage à chaud de tôle exige de maîtriser le couplage de trois types de modèles :

1- la mécanique de la déformation plastique du métal de la tôle, qui fixe les niveaux de pression et de taux de glissement local ; le comportement du métal est fortement dépendant de sa température, c'est donc un modèle thermomécanique, macroscopique, qui forme le cadre de l'étude ; ce point est bien maîtrisé |1].

2- la capacité du lubrifiant à séparer les surfaces dans les conditions mentionnées ci-dessus : la compréhension ne peut venir que d'une analyse micromécanique des phénomènes tribologiques, mouillage de la tôle par l'émulsion et son impact sur l'épaisseur de film lubrifiant (équation de Reynolds généralisée [2]), conformation des aspérités de la tôle et du cylindre ; de tels modèles ont été développés dès les années 1990 [3-5].

Ces deux premiers points sont couplés puisque pression et glissement macroscopiques dépendent du frottement dicté par la micro-échelle ; ce type de couplage est désormais bien maîtrisé, en particulier pour les procédés à froid, mais demande à être étendu au laminage à chaud, par exemple d'après les idées de [6].

3- Lorsque, en lubrification limite, le lubrifiant ne joue plus complétement son rôle, l'adhésion peut transférer du métal de la tôle vers le cylindre dont il transforme la rugosité [7]. Celle-ci impacte fortement le frottement. Il faut donc :
- exprimer un critère d'adhésion, multifactoriel [8], conjuguant par exemple (i) l'épaisseur de film, (ii) la température critique de désorption des additifs, (iii) l'endommagement de la surface.
- on passe alors de l'impression de stries longitudinales du cylindre sur la tôle (en cinématique de roulement avec léger glissement, peu endommageant), à un labourage par des aspérités 3D qui donne un frottement nettement plus fort et amplificateur de l'adhésion (« effet boule de neige »). Un modèle de frottement local de labourage [9] doit alors être couplé au modèle tribologique.

Ce système physique complexe devra faire l'objet d'hypothèses simplificatrices, à fonder sur l'approfondissement des connaissances du contexte ; au cœur des travaux se trouvera donc l'activité de modélisation physique et mécanique. La figure ci-dessous offre un premier aperçu de l'organisation du programme.

La validation fera appel, composante par composante du modèle, à des tribomètres de laboratoire bien connus : stabilité de l'émulsion et « plate-out » en température, température critique de désorption d'additifs limiteurs de frottement / température de réaction d'additifs extrême pression, conditions critiques d'adhésion.

[1] P. Montmitonnet : Hot and cold strip rolling processes. Comput. Meth. Appl. Mech. Engng 195 (2006) 6604-6625

[2] W.R.D. Wilson, Y. Sakaguchi, S.R. Schmid: A mixed flow model for lubrication with emulsions. Tribology Trans. 37, 3 (1994) 543-551

[3] Sutcliffe M.P.F., Johnson K.L., Lubrication in cold strip rolling in the mixed regime, Proc. Instn.Mech. Engrs. 204 (1990) 249–261

[4] Wilson W.R.D., Sheu S., Real area of contact and boundary friction in metal forming. Int. J. Mech. Sci. 30, 7 (1988) 475-489

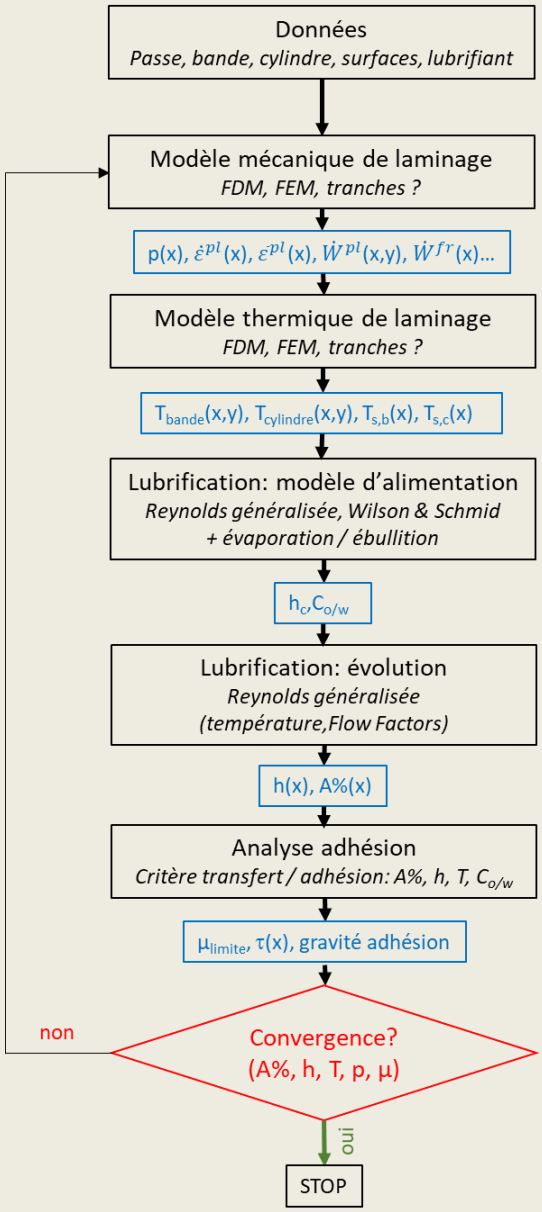
[5] N. Marsault, P.Montmitonnet, P. Deneuville, P. Gratacos: Un modèle de laminage lubrifié en régime mixte. Revue de Métallurgie - Science et Génie des Matériaux 98, 5 (Mai 2001) 423-433

[6] W.R.D. Wilson, C.J. Wong: Analysis of the lubricant film formation process in plane strain forging. ASME J. Lub. Tech. 95, 4 (1974) 605-610

[7] P. Montmitonnet, E. Felder: Usure, transfert et conséquences. De l'observation à la modélisation. Les Techniques de l'Ingénieur, TRI 504 (2017)

[8] O. Filali : Approche multiphysique du contact frottant en grande déformation plastique : prédiction numérique du grippage d'alliages d'aluminium en mise en forme à froid. Thèse, UPHF (2020)

[9] W.R.D. Wilson: Friction models for metal forming in the boundary lubrication regime. J. Engg. Mat. Technol. (Trans. ASME) 113, 1 (1991) 60-68



Organigramme général du logiciel et des travaux

Valorisation	*Rédaction d'articles + Présentation dans des conférences internationales*
Outils	*Programmation (Fortran, Python).* *Essais de validation sur tribomètres (protocoles à définir dans le cadre des travaux)*

Mots-clés	Laminage à chaud, tribologie, modélisation numérique, Transferts thermiques, adhésion, lubrifiants et additifs
Profil & compétences	- Le candidat devra être titulaire d'un doctorat en Modélisation et Mécanique Numérique. - Compétences principales : Modélisation numérique, langage Python, Mécanique. - Une formation en tribologie et/ou thermique serait appréciée - Motivation pour la modélisation et la simulation numérique. - Rigueur et capacité à s'investir pleinement dans un sujet. - Aptitude au travail en équipe. - Maitrise de la langue anglaise (niveau B2 minimum).
Lieux	- MINES Paris, CEMEF, Sophia Antipolis - 80% - TotalEnergies ONE TECH, Solaize (69) - 20%
Encadrants	Pierre Montmitonnet, Directeur de Recherches CNRS (HDR) pierre.montmitonnet@minesparis.psl.eu – (+33) (0)4 93 95 74 14 Imène Lahouij, Chargée de Recherches Ecole des Mines de Paris imene.lahouij@minesparis.psl.eu – (+33) (0)4 93 95 75 86 Correspondant TotalEnergies ONE TECH : Frédéric ESPINOUX frederic.espinoux@totalenergies.com - +(33) (0)4 78 02 62 20