

16 décembre 2024

Offre de stage de master

Modélisation de la fragmentation de bras de dendrites secondaires dans un alliage binaire Fer-Carbone avec la méthode du champ de phase

Informations générales

Lieu de travail : Nancy, campus Artem

Type de contrat : Stage

Durée du stage : 4 à 6 mois

Date d'embauche prévue : À partir de février/mars 2025

Rémunération : Gratification selon grille en vigueur

Niveau d'études souhaité : Master en physique/chimie des matériaux, métallurgie ou physique de la matière condensée

Contexte et objectif :

Afin de répondre à une demande croissante d'électricité décarbonée pour lutter contre le réchauffement climatique, l'état Français prévoit de construire au moins 6 réacteurs EPR 2 d'ici à 2050. Dans ce contexte, et afin de garantir la maîtrise de la qualité des composants de ces réacteurs, EDF souhaite renforcer son expertise sur l'élaboration des pièces forgées des cuves et des générateurs de vapeur. Cette élaboration passe par plusieurs étapes, à commencer par la **solidification** de gros lingots d'acier (typiquement de l'ordre de centaines de tonnes). Durant la solidification, la ségrégation chimique, néfaste aux propriétés mécaniques, se développe sur plusieurs échelles. Pour mieux contrôler la ségrégation, il est donc nécessaire de bien le comprendre la solidification, ce qui peut être réalisé via une simulation numérique.

La **solidification** des lingots d'acier est une problématique multi-échelle complexe. Cette complexité résulte de la forte interaction entre les phénomènes de transport du métal liquide à l'échelle du lingot et les microstructures (dendrites colonnaires et/ou équiaxes) qui se mettent en place tout au long du processus. En effet, le front colonnaire de solidification croît depuis les parois (froides) vers le centre (chaud) du lingot sous l'effet du gradient thermique. Lorsque ce dernier décroît et passe en dessous d'un seuil critique, le front colonnaire, plus précisément au niveau des bras dendritiques secondaires, fragmente. Les fragments vont constituer la source dominante des grains équiaxes, qui seront d'abord entraînés par le mouvement du métal liquide, puis entassés au centre du lingot formant une zone pâteuse modélisée par un milieu solide poreux.

Dans le logiciel multi-échelle et multi-physique SOLID[®], la fragmentation est modélisée par une loi simple. En effet, un flux de fragments φ_i est généré à une hauteur y_i lorsque le gradient est inférieur à un seuil critique G_c . Le triplet de valeurs (φ_i, y_i, G_c) est déterminé de manière empirique ou calibré sur des expériences.

Afin de mieux comprendre le phénomène de fragmentation, il est indispensable de le simuler moyennant des méthodes basées sur des concepts fondamentaux de la thermodynamique des phénomènes irréversibles tel que le modèle du **champ de phase**.

L'objectif du stage est la compréhension de la fragmentation à l'échelle microscopique afin d'améliorer la loi de fragmentation macroscopique. Pour cela, une modélisation de la mise en place des microstructures de solidification basée sur la méthode des **champs de phase** sera développée.

Plan prévisionnel :

- Recherche bibliographique des propriétés thermo-physiques et interfaciales des aciers
- Adaptation d'un code champ de phase à la solidification dirigée d'un alliage binaire Fe-C [Xie2014]
- Calcul des espacements inter-dendritiques primaires et secondaires durant le ralentissement du front de solidification
- Dérivation de lois de refusion de bras secondaires
- Rédaction d'un manuscrit
- Présentation des résultats à EDF R&D

[Xie2014] Xie, Y., Dong, H., & Dantzig, J. (2014). *Growth of secondary dendrite arms of Fe-C alloy during transient directional solidification by phase-field method*. *ISIJ international*, 54(2), 430-436.

Compétences :

- Solides connaissances en thermodynamique des transitions de phases (solidification étant un plus)
- Autonomie en programmation (C, C++, python...)
- Motivation pour la collaboration avec des chercheurs académiques et partenaires industriels

Contexte de travail et collaborations :

Le stage se déroulera en étroite collaboration entre l'équipe Solidification de l'Institut Jean Lamour (IJL) et les équipes de simulation numérique des microstructures aux échelles atomiques et mésoscopiques d'EDF Recherche et développement. Le/la stagiaire sera essentiellement basé(e) à l'IJL, et effectuera plusieurs déplacements sur le site des Renardières d'EDF R&D (à 45 minutes de Paris).

Contraintes et risques

Le poste sur lequel vous candidatez se situe dans un secteur relevant de la protection du potentiel scientifique et technique et nécessite donc, conformément à la réglementation, que votre arrivée soit autorisée par l'autorité compétente du MESR.

A propos de l'Institut Jean Lamour

L'Institut Jean Lamour (IJL) est une unité mixte de recherche du CNRS et de l'Université de Lorraine. Il est rattaché à l'Institut de Chimie du CNRS. Spécialisé en science et ingénierie des matériaux et des procédés, il couvre les champs suivants : matériaux, métallurgie, plasmas, surfaces, nanomatériaux, électronique.

L'IJL compte 170 chercheurs et enseignants-chercheurs, 90 personnels d'appui à la recherche, 150 doctorants et 25 post-doctorants. Il collabore avec plus de 150 partenaires industriels et ses collaborations académiques se déploient dans une trentaine de pays. Son parc instrumental exceptionnel est réparti sur 4 sites dont le principal est situé sur le campus Artem à Nancy.

Modalités de candidature

Les candidat-e-s sont invités à adresser CV et lettre de motivation à :

Dr A. Boukellal, Chercheur CNRS, IJL, ahmed.boukellal@univ-lorraine.fr

Dr. A. Michel, Ing. Chercheur R&D, EDF, antoine.michel@edf.fr

Dr. G. Adjanor, Ing. Chercheur R&D, EDF, gilles.adjanor@edf.fr