

Sujet de Thèse

Chaire TOPAZE

Contexte

Prédiction des évolutions de microstructure des alliages $\gamma - \gamma'$ au cours de la mise en forme de disques de turbine de moteurs de nouvelle génération.

La chaire industrielle TOPAZE, co-financée par l'ANR et le groupe SAFRAN, porte sur la maîtrise des microstructures et propriétés mécaniques des superalliages à base nickel employés dans les moteurs d'avion et d'hélicoptère de nouvelle génération. Ces matériaux sont employés pour la fabrication de pièces de turboréacteurs en raison de leur tenue mécanique à haute température. L'amélioration des performances de ces alliages permettra d'élever la température de fonctionnement des moteurs et d'en améliorer le rendement, contribuant ainsi à la réduction du coût énergétique et de l'impact écologique du transport aérien.

La chaire TOPAZE fait suite à la chaire industrielle ANR-Safran OPALE (2015-2019). Elle réunit les compétences du CEMEF (MINES ParisTech, UMR CNRS 7635) concernant l'évolution des microstructures au cours des opérations de mise en forme et celles de l'Institut P' (ISAE-ENSMA, UPR CNRS 3346) concernant l'impact de la microstructure sur les propriétés mécaniques en service et la durabilité. Le programme de travail TOPAZE comprend 8 thèses sur la période 2020-2024, avec des sujets à dominante expérimentale, numérique ou mixtes, et couvrant de multiples domaines : Science des matériaux, Métallurgie physique, Mécanique des matériaux, Analyse microstructurale avancée, Simulation numérique. La chaire TOPAZE offre un environnement de travail particulièrement riche, en interaction avec de multiples experts académiques et industriels.

Pour en savoir plus sur les chaires industrielles ANR-Safran OPALE et TOPAZE :

<https://chaire-opale.cemef.mines-paristech.fr>

<https://chaire-topaze.cemef.mines-paristech.fr>

Sujet de thèse

Les superalliages base nickel $\gamma - \gamma'$ sont désormais utilisés pour la fabrication des disques des parties les plus chaudes des moteurs d'avion. L'alliage Inconel 718, longtemps utilisé pour ces applications, se dégrade trop rapidement aux températures de fonctionnement associées aux nouveaux designs des moteurs. C'est grâce à l'emploi de ces nouveaux alliages $\gamma - \gamma'$ que le cahier des charges a pu être rempli. Ceci nécessite néanmoins le parfait contrôle des microstructures issues des opérations de mise en forme (déformation à chaud, traitements thermiques), et donc l'optimisation des gammes de fabrication.

Cette thèse vise à formuler un modèle métallurgique décrivant l'évolution de la microstructure en fonction des conditions thermomécaniques appliquées, destiné à un usage industriel en tant que guide dans l'optimisation de la conduite des procédés. Les phénomènes métallurgiques à prendre en compte sont la déformation plastique, la recristallisation et la croissance de grains, dans un contexte de fort couplage avec l'état de précipitation de la phase γ' . A la différence d'autres alliages, les superalliages $\gamma - \gamma'$ voient les précipités évoluer très rapidement au cours des opérations de mise en forme. L'évolution de la phase γ' fait l'objet d'une autre thèse de la chaire TOPAZE qui a démarré fin 2019. Les modèles cinétiques (analytiques) qui en découleront seront intégrés dans le modèle d'évolution de la microstructure à développer.

La thèse comportera une partie expérimentale conséquente : essais thermomécaniques reproduisant les conditions du procédé industriel, analyses fines des microstructures et identification des mécanismes métallurgiques actifs. Le volet modélisation de la thèse consistera à décrire les cinétiques de ces mécanismes en fonction des conditions thermomécaniques (température, vitesse de déformation, niveau de déformation) et de l'état de précipitation. L'objectif est de prédire la microstructure résultante de manière la plus complète possible : valeurs moyennes et distributions de taille de grains, niveau d'écrouissage, fraction volumique et taille des précipités γ' primaires et secondaires.

Ce travail s'appuiera sur le savoir-faire de l'équipe d'accueil en matière d'analyse quantitative des microstructures, et de modélisation des phénomènes de recristallisation. A terme, couplé à la simulation thermomécanique macroscopique du procédé (par éléments finis), le modèle métallurgique développé permettra la prédiction de la microstructure en tout point de la pièce fabriquée. Il pourra par ailleurs être associé à des modèles de prédiction des propriétés mécaniques formulés sur la base des mêmes grandeurs microstructurales, pour compléter la chaîne de modélisation et relier les conditions de mise en forme aux propriétés finales. La modélisation de la relation microstructure-propriétés est un autre volet du programme de la chaire TOPAZE, pris en charge à l'institut P'.

Profil – compétences recherchées

- Formation d'ingénieur ou master en métallurgie / science des matériaux / génie des matériaux / mécanique des matériaux,
- goût pour la recherche, pour le travail expérimental et la modélisation,
- programmation informatique, analyse d'images et traitement de données,
- rigueur et capacité à s'investir pleinement dans un sujet ; Aptitude au travail en équipe,
- la maîtrise de la langue anglaise est indispensable.

Equipe d'accueil et lieu

La thèse se déroulera au CEMEF (MINES ParisTech, Sophia Antipolis, 06). L'encadrement sera assuré par Pr. N. Bozzolo et Pr. Marc Bernacki.

Financement

CIFRE Safran

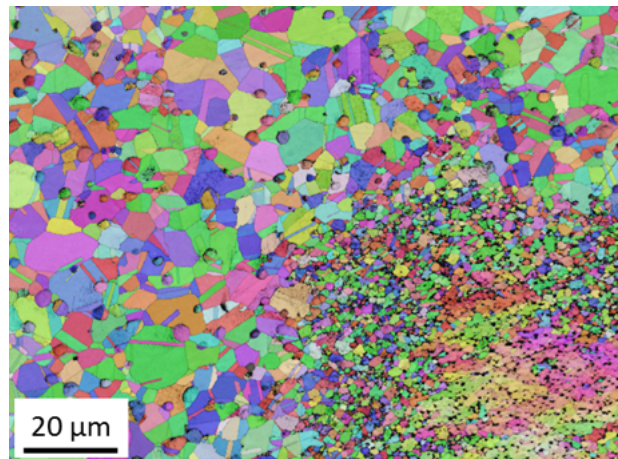
Mots-clés

Aéronautique ; Superalliages base nickel ; Recristallisation ; Analyse microstructurale quantitative ; Modélisation

Dossier de candidature

Pièces à envoyer à nathalie.bozzolo@mines-paristech.fr, marc.bernacki@mines-paristech.fr :

- CV détaillé,
- relevés de notes des trois dernières années, et classement dans la promotion,
- lettre de motivation,
- deux lettres de recommandation.



Microstructure d'un superalliage base nickel $\gamma - \gamma'$ partiellement recristallisée en raison d'un état de précipitation hétérogène.