

Offre de thèse pour un CDD doctorant

Début : à partir de septembre 2026

Sujet : Evolutions des microstructures au cours du revenu d'aciers fortement alliés pour application aéronautique et optimisation de leurs performances en température

Informations générales

Lieu de travail : Nancy

Type de contrat : Contrat doctoral

Durée du contrat : 36 mois

Date d'embauche prévue : Septembre 2026

Quotité de travail : Temps complet

Rémunération : 2300 € brut par mois

Niveau d'études souhaité : Master en Sciences et Ingénierie des Matériaux, Métallurgie

Expérience souhaitée : Indifférent

Missions / Activités

La thèse s'inscrit dans le contexte de réduction de la consommation énergétique, et donc des émissions polluantes, des industries aérospatiale et aéronautique. Cet enjeu motive le développement de nouveaux alliages métalliques contribuant à l'allègement des moteurs via l'augmentation de leurs températures de fonctionnement ou via l'augmentation de leurs performances mécaniques à température donnée. Elle a pour cadre une collaboration de recherche entre Safran Transmission Systems et l'Institut Jean Lamour (IJL), collaboration visant à améliorer la compréhension des transformations de phases lors des traitements thermiques de nouvelles nuances d'aciers optimisées pour la transmission de puissance mécanique et pour des applications à haute température.

Problématique

Les aciers faiblement alliés pour cémentation présentent des propriétés en fatigue limitées dans les intervalles de température de fonctionnement des futurs moteurs, notamment de par leur limitation en résistances mécaniques à plus haute température. Des solutions métallurgiques plus fortement alliées existent depuis longtemps, mais les évolutions microstructurales ayant lieu lors de séquences de traitements thermiques complexes de ces dernières ont été relativement peu étudiées. L'amélioration et la maîtrise de ces traitements nécessitent une connaissance plus approfondie des transformations de phases successives. Après cémentation dans le domaine austénitique et refroidissement, ces aciers subissent une nouvelle austénitisation, une trempe, un traitement cryogénique, puis plusieurs revenus à ~500°C. Après trempe, la microstructure martensitique présente des carbures alliés (primaires issus de l'enrichissement) et une fraction élevée d'austénite résiduelle. Les traitements thermiques ultérieurs permettent de décomposer une grande partie de l'austénite ainsi que la précipitation de nouveaux carbures alliés (secondaires), afin d'augmenter les propriétés mécaniques (limite d'élasticité, dureté...) et d'obtenir une microstructure stable sous chargement en service (résilience, fatigue...). Les évolutions microstructurales à chaque étape de la séquence de traitements restent à établir et à quantifier [1]. Une voie intéressante d'amélioration de ces traitements est d'optimiser la microstructure initiale avant revenu, en modifiant la température de trempe cryogénique, voire en examinant le potentiel d'une microstructure initiale bainitique.

Objectifs et programme de la thèse

On étudiera les évolutions microstructurales au cours des revenus en considérant deux phénomènes principaux en interaction : la précipitation des carbures et la décomposition de l'austénite. On établira les séquences de précipitation et la compétition entre les différents carbures (carbures de fer et des carbures alliés), la cinétique de décomposition de l'austénite résiduelle, l'évolution de sa morphologie, la redistribution des éléments d'alliages entre les phases ainsi que les cinétiques de restauration des dislocations. On abordera les questions suivantes :

- L'influence de la microstructure initiale avant revenu : fraction et morphologie de l'austénite, carbures primaires (formés pendant l'enrichissement), distribution initiale du carbone. On fera varier la température de trempe (ambiante, trempes cryogéniques) et on examinera le cas d'une microstructure initiale bainitique. Les évolutions microstructurales induites, avant revenus, par les transformations martensitique ou bainitique seront examinées de manière approfondie.
- Au cours du revenu, l'analyse de la stabilité de l'austénite tiendra compte de l'interaction avec la précipitation des carbures secondaires, qui entraîne un appauvrissement de l'austénite et sa décomposition. Elle tiendra compte également des contraintes internes à l'échelle des phases.
- Les traitements cryogéniques modifient non seulement la fraction de martensite, mais aussi la distribution du carbone à l'échelle atomique et la présence de défauts au sein de cette phase. On étudiera ces effets et leur impact sur les séquences de précipitation au cours du revenu [2].

En plus de méthodes conventionnelles (dilatométrie, Microscopie Electronique à Balayage (MEB), Spectroscopie à dispersion d'énergie (ESD), Diffraction des électrons Rétrodiffusés (EBSD), microdureté, essais mécanique...), l'étude expérimentale reposera sur des expériences DRX Haute Energie (synchrotron) pour mesurer simultanément, in situ et en cours de traitements thermiques, les cinétiques de transformations de phases, l'évolution des paramètres de maille, liés aux compositions chimiques et aux contraintes internes et les cinétiques de restauration des dislocations [3,4]. On étudiera des échantillons à composition en carbone soit homogène (dilatométrie), soit à gradient de carbone (représentatif des pièces cémentés), la concentration locale en carbone déterminant la microstructure initiale et les cinétiques au cours du revenu. La microscopie en transmission (MET) sera utilisée pour quantifier les microstructures de précipitation secondaire (nature chimique des carbures alliés, parfois complexes, taille, morphologie, ...). L'analyse reposera également sur la modélisation thermocinétique des transformations de phases [3,4] qui sera calibrée sur les données microstructurales élaborées durant le projet. Cet outil servira à terme à l'optimisation des trajets thermiques pour des futures applications industrielles.

Références

- [1] J. Lian, L. Zheng, F. Wang, H. Zhang, Evolution of carbides on surface of carburized M50NiL bearing steel, *J. Iron Steel Res. Int.* 25 (2018) 1198–1211. <https://doi.org/10.1007/s42243-018-0166-4>
- [2] V.G. Gavriljuk, V.A. Sirosh, Yu.N. Petrov, A.I. Tyshchenko, W. Theisen, A. Kortmann, Carbide Precipitation During Tempering of a Tool Steel Subjected to Deep Cryogenic Treatment, *Metall. Mater. Trans. A* 45 (2014) 2453–2465. <https://doi.org/10.1007/s11661-014-2202-8>
- [3] S. Gaudez, PhD Thesis, Kinetics and microstructural evolutions during the tempering of martensitic and nano-bainitic low alloyed steels : in situ experimental study and modelling, Université de Lorraine, France, 2021. https://docnum.univ-lorraine.fr/public/DDOC_T_2021_0016_GAUDEZ.pdf
- [4] J. Macchi, J. Teixeira, F. Danoix, G. Geandier, S. Denis, F. Bonnet, S.Y.P. Allain, Impact of carbon segregation on transition carbides and cementite precipitation during tempering of low carbon steels: Experiments and modeling, *Acta Mater.* 272 (2024) 119919. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2024.119919>

Contexte de travail

La thèse se déroulera principalement à l'Institut Jean Lamour à Nancy, sous la direction de Julien Teixeira et Sébastien Allain. Elle sera en étroite interaction avec Safran Transmission Systems

A l'issue de la thèse l'étudiant ou l'étudiante aura appris à maîtriser la panoplie des dernières techniques de pointe dans le domaine de la caractérisation des transformations de phases : microscopie électronique à balayage, EBSD, microscopie électronique en transmission, dilatométrie, ainsi que la diffraction des rayons X sur ligne de lumière synchrotron. Un bagage précieux pour sa future carrière dans la recherche industrielle ou académique. Le ou La candidate devra avoir un gout prononcé pour l'expérimentation et le développement instrumental.

Compétences

- Titulaire d'un diplôme d'ingénieur ou d'un Master 2 dans le domaine de la science et de l'ingénierie des matériaux, métallurgie.
- Connaissances en transformations de phases et des méthodes de caractérisation des matériaux.

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. Spécialisé en science et ingénierie des matériaux et des procédés, il couvre les champs suivants : matériaux, métallurgie, plasmas, surfaces, nanomatériaux, électronique. En 2026, l'IJL compte 243 permanents (34 chercheurs, 131 enseignants-chercheurs, 78 IT-BIATSS) et 389 non-permanents (146 doctorants, 43 post-doctorants / chercheurs contractuels et plus de 200 stagiaires), de plus de 50 nationalités différentes. 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.

Contraintes et risques

Poste situé dans un secteur relevant de la protection du potentiel scientifique et technique et nécessitant, conformément à la réglementation, une autorisation par l'autorité compétente du MESR.

Modalités de candidature

Adresser CV, lettre de motivation accompagnée des noms de 2 références et relevés de notes (M1 et M2) à :

Dr. Julien Teixeira, julien.teixeira@univ-lorraine.fr

Pr. Sébastien Allain, sebastien.allain@univ-lorraine.fr