



SOUTENANCE DE THÈSE

Mardi 26 mars 2019 à 10h00

Institut Jean Lamour, Campus Artem, Amphi 200
2 allée André Guinier, 54011 Nancy Cedex, France

Etude numérique de la dynamique des défauts d'alignement des précipités γ' dans les superalliages monocristallins à base de nickel

MATTHIEU DEGEITER

Directeur de thèse : BENOÎT APPOLAIRE

Co-directeur de thèse : YANN LE BOUAR

Co-encadrants de thèse : MIKAEL PERRUT, ALPHONSE FINEL

Jury composé de:

HELENA ZAPOLSKY	GPM, Université de Rouen-CNRS	Rapporteur
FLORENCE PETTINARI-STURMEL	CEMES, Université Toulouse III-CNRS	Rapporteur
CÉLINE VARVENNE	CINaM, Université d'Aix-Marseille-CNRS	Examineur
JONATHAN CORMIER	Institut Pprime, ISAE-ENSMA-CNRS	Examineur
MIKAEL PERRUT	DMAS, ONERA	Co-encadrant de thèse
ALPHONSE FINEL	LEM, ONERA-CNRS	Co-encadrant de thèse
YANN LE BOUAR	LEM, ONERA-CNRS	Co-directeur de thèse
BENOÎT APPOLAIRE	IJL, Université de Lorraine-CNRS	Directeur de thèse

Résumé

Dans les alliages multiphasés, la cohérence des interfaces entre des phases en désaccord paramétrique génère des champs élastiques internes à longue distance et généralement anisotropes. L'interaction de ces champs affecte fortement la cinétique des transformations de phase diffusives, et influence la forme et l'arrangement spatial des précipités. Dans la microstructure des superalliages monocristallins à base de nickel, obtenue par précipitation de la phase γ' ordonnée $L1_2$ dans la matrice CFC γ , l'élasticité conduit à la formation d'alignements quasi-périodiques des précipités γ' cuboïdaux. La microstructure γ/γ' possède cependant des défauts systématiques d'alignement des précipités: des branches, des macro-dislocations et des motifs en chevrons.

Nous nous intéressons à l'origine de ces défauts d'alignement. Nous conduisons des analyses de stabilité de l'arrangement périodique de précipités en interactions élastiques. Contrairement à la stabilité attendue, les calculs semi-analytiques ont révélé l'instabilité de la distribution périodique de précipités γ' cubiques, vis-à-vis de certains modes de perturbation. Les principales instabilités sont le mode longitudinal [100] et le mode transverse [110], et leur domaine d'instabilité est analysé vis-à-vis de l'anisotropie élastique. Le développement de ces modes instables est étudié par une méthode de champ de phase classique, en simulant l'évolution de microstructures périodiques soumises à des légères perturbations initiales. Nous montrons que l'expression des instabilités d'arrangement procède essentiellement par l'évolution de la forme des précipités, et conduit à la formation de motifs qui ont pu être reliés à des microstructures expérimentales. En particulier, le mode transverse [110] conduit à la formation de motifs en chevrons. Nous étudions l'influence du taux de phase γ' et de l'inhomogénéité du module élastique C' , et nous montrons le rôle qu'ils jouent dans la stabilisation de l'arrangement périodique. Dans des simulations réalisées dans des études antérieures, la dynamique des défauts est analysée au moyen de paramètres topologiques issus de la phénoménologie des structures hors-équilibre. Au cours d'un recuit isotherme, nous observons que les branches et les macro-dislocations migrent dans la microstructure selon des mécanismes de montée et de glissement.

Nous utilisons ensuite une nouvelle formulation des modèles de champ de phase, intrinsèquement discrète, dans laquelle les interfaces sont résolues essentiellement avec un pas de grille sans friction de réseau et avec une invariance par rotation précise. Cette approche, appelée Sharp Phase Field Method (S-PFM), est implémentée sur une grille CFC, et avec une description des quatre variants de translation des précipités γ' . Nous montrons que la S-PFM permet la modélisation de microstructures à grande échelle, avec plusieurs milliers de précipités à deux et trois dimensions, et donne ainsi accès à des informations statistiques sur l'évolution de la microstructure et sur la dynamique des défauts d'alignement.

Nous discutons finalement la perspective de modéliser l'évolution de la microstructure γ/γ' à une échelle supérieure par une description de la dynamique des défauts d'alignement des précipités.

Mots clés: microstructure, élasticité, champ de phase, analyses de stabilité, dynamique des défauts, analyses en phases.