

TP4

Influence des traitements thermiques sur les défauts de fonderie dans les superalliages à base de Ni pour aubes de turbine monocristallines

Encadrement : Robin.Mallick@mines-paristech.fr

Contexte :

L'augmentation du rendement des turboréacteurs aéronautiques réclame l'élévation de la température des gaz à l'entrée de la turbine (Fig. 1a). Les parties les plus chaudes des moteurs, et en particulier les aubes de la turbine haute pression, doivent ainsi faire face à une amplification des sollicitations thermomécaniques. Afin que ces aubes atteignent les spécifications requises en fluage, elles sont réalisées par fonderie en monocristal de superalliage à base de Nickel. Les compositions de ces superalliages monocristallins n'ont cessé d'évoluer depuis les années 1970 afin d'améliorer, à la fois leur résistance mécanique, leur stabilité microstructurale et leur résistance à l'oxydation et à la corrosion aux températures extrêmes d'utilisation. Ces évolutions de composition se sont traduites en particulier par l'introduction de Rhénium et de Ruthénium et la teneur en ces éléments caractérise d'ailleurs les différentes générations selon lesquels les superalliages monocristallins sont classés.

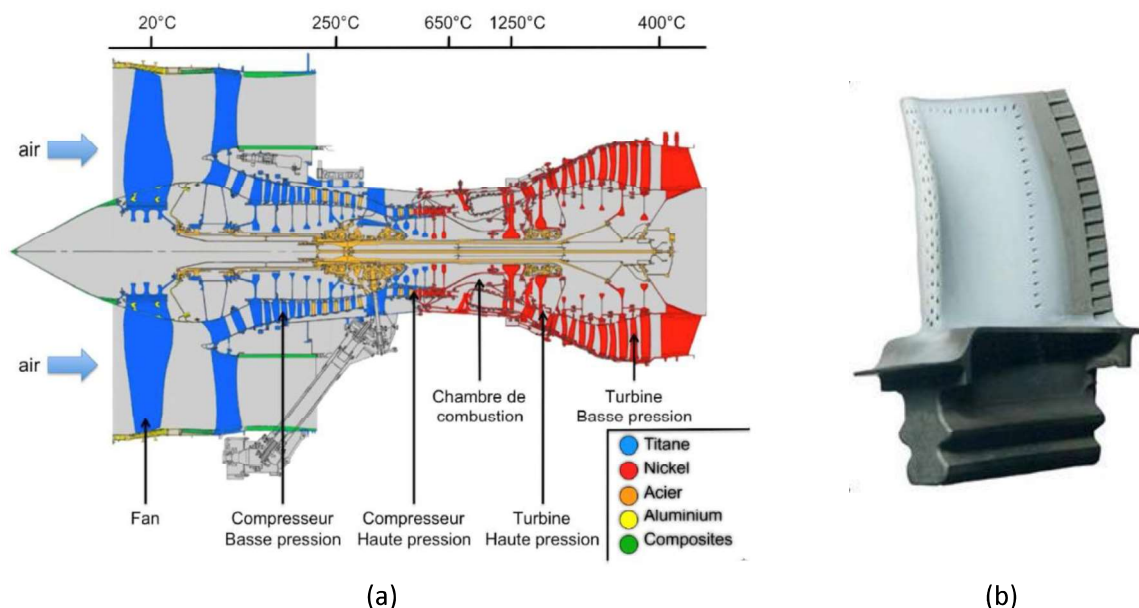


Figure 1. (a) Coupe d'un moteur d'avion civil (type CFM56) et (b) exemple d'une aube de turbine monocristalline

Pour concevoir de nouvelles compositions de superalliage, il est nécessaire de connaître et de comprendre l'influence de chaque élément d'alliage, en particulier leur concentration, sur les différentes caractéristiques et propriétés du superalliage. De nombreuses études publiées ont permis de préciser l'effet de nombre des éléments d'alliage sur : la microstructure et les propriétés mécaniques, les propriétés en oxydation et en corrosion, et également d'interpréter ces effets en identifiant les phénomènes physiques ou chimiques mis en jeu. Ces études fournissent ainsi la base de la conception de compositions adaptées à la réalisation de monocristaux présentant les caractéristiques microstructurales (fraction volumique de phase γ' , taille des précipités de phase γ' ,

différences des paramètres de maille entre γ et γ' ...) reconnues comme optimum. Cela permet aux aubes monocristallines d'atteindre de remarquables propriétés en fluage et en fatigue à haute température dans un environnement particulièrement oxydant et corrosif. Cependant les effets à identifier et à interpréter restent très nombreux et les gammes de composition à explorer suffisamment vastes.

Objectifs :

Pour pouvoir obtenir la microstructure composée des phases γ et γ' avec des taille et fraction de précipités optimales, les superalliages à base de Nickel sont soumis à une gamme de traitements thermiques : remise en solution puis trempe, premier revenu et deuxième revenu. L'objectif de la remise en solution (à des températures correspondantes au domaine monophasé γ) est de faire disparaître les défauts qui sont apparus pendant le procédé de fonderie : ségrégations chimiques et zones d'agrégats eutectiques (γ/γ'). Pendant la trempe, la microstructure issue de la remise en solution est figée et il n'y aurait pas de transformation de phase. Les premier et deuxième revenus (à des températures correspondantes au domaine biphasé γ/γ') conduisent à la précipitation et croissance de la phase γ' dans la matrice γ . Les propriétés finales des superalliages à base de Nickel dépendent de la microstructure finale en termes de taille et de fraction de précipités γ' ainsi que de la fraction de défauts issues du procédé de fonderie qui n'ont pas disparu pendant les traitements thermiques.

L'objectif de ce travail pratique est d'étudier l'influence des traitements thermiques sur la microstructure et sur les défauts formés pendant le procédé de fonderie : pores, zones d'agrégats eutectiques (γ/γ') et hétérogénéités chimiques. Pour cela, des observations de microstructures couplées avec de l'analyse d'image seront réalisées.

Matériaux :

Le superalliage à base de Nickel CSMX-4 Plus, de troisième génération, sera utilisé dans ce travail pratique. Le René N5, de deuxième génération, sera aussi observé pour comparer les effets de la composition chimique sur la microstructure brute de solidification. Les compositions chimiques des deux alliages étudiés sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Compositions chimiques des superalliages à base de Nickel étudiés (at. %).

Superalliage	Co	Cr	W	Re	Mo	Al	Ta	Ti	Autres
René N5	8,2	8,1	1,6	1,0	1,3	13,9	2,3	-	-
CMSX-4 Plus	10,3	4,2	1,9	1,6	0,4	13,1	2,9	1,1	0,04 Hf

Le CMSX-4 Plus a subi une gamme complète de traitements thermiques et est étudié dans les états :

- brut de réception ou de fonderie ;
- après une remise en solution et trempe ;
- après une remise en solution et trempe et deux revenus.

Plan du travail :

1. Préparation métallographique des échantillons : polissage

2. Observations des microstructures au microscope optique
3. Attaque chimique à l'eau régale
4. Observation des microstructures au microscope électronique à balayage (MEB)
5. Analyses d'images : à partir des images obtenues au microscope optique (au moins 5 champs d'observation par échantillon), déterminer les fractions de défauts observés (agrégats eutectiques (γ/γ'), pores et autres).
6. Etude de la ségrégation chimique des éléments en fonction du traitement thermique par profils de composition chimique par analyse dispersive en énergie (EDS).
7. Analyse des résultats :
 - a. Conclusion sur les types de défauts observés à l'état brut de fonderie. Donner une explication quant à l'apparition de ces défauts.
 - b. Tracer les courbes d'évolution des fractions de défauts en fonction des traitements thermiques reçus.
 - c. Conclure quant à l'influence des traitements thermiques sur la fraction de défauts et sur la microstructure γ/γ' . Expliquer.

Bibliographie :

1. Roger C. Reed, The Superalloys, Fundamentals and Application, Cambridge University Press, 2006.
2. Gérard Roblin, Microscopie optique, Technique de l'Ingénieur, 1999.
3. Jean Pokorny, Annick Pokorny, Métallographie, Technique de l'Ingénieur, 1994.