

RÉSUMÉ THÈSE LOUISE GRAU : COMPORTEMENT MÉCANIQUE À LA SOLIDIFICATION ET MÉCANISMES DE RECRISTALLISATION DE SUPERALLIAGES À BASE DE NICKEL MONOGRANULAIRES.

Les superalliages à base de nickel monogranulaires (SX) sont communément utilisés pour fabriquer les composants situés dans les parties chaudes des turboréacteurs civils et militaires en raison de leurs bonnes propriétés mécaniques à hautes températures. Le procédé de fonderie à la cire perdue utilisé pour fabriquer ces pièces aux géométries très complexes représente un véritable challenge technologique. En effet, lors de la solidification, la différence de contraction thermique entre le composant métallique, le moule et les noyaux qui sont en céramique introduit des contraintes résiduelles au sein de la pièce. Cette non-conformation du moule peut mener localement à l'apparition de structures de dislocations et à de la déformation plastique. Celle-ci est accumulée durant le refroidissement après solidification et peut mener, après un traitement thermique ultérieur, à l'apparition de grains recristallisés au travers de toute la pièce. La perte du caractère monogranulaire du composant due à la recristallisation (RX) implique une chute drastique de ses propriétés mécaniques en fluage ou en fatigue. L'objectif de ces travaux de thèses est de mieux comprendre le type et les mécanismes de RX impliqués lors du procédé de fabrication des aubes de turbine monogranulaires. Pour cela, trois superalliages à base de nickel bruts de coulée sont étudiés : l'AM1 (1^{ère} génération), le CMSX-4 (2^{ème} génération) et le CMSX-4 Plus (3^{ème} génération). Ces alliages s'avèrent très sensibles à la RX car ils sont dépourvus d'éléments chimiques pour renforcer les joints de grains.

Pour comprendre ce phénomène de non-conformation du moule s'appliquant dès la solidification, une caractérisation du comportement en traction/relaxation à très haute température (~1300 °C) est nécessaire. Celle-ci est effectuée via une machine de fatigue électromécanique équipée d'un inducteur spécifiquement développé pour les besoins de cette étude. Ces essais permettent d'une part de compléter les connaissances à très haute température sur les alliages bruts de coulée, et d'autre part d'investiguer l'influence de la température de déformation et de la vitesse de déformation lors d'essai isotherme sur l'apparition de grains recristallisés. Une fois ces connaissances acquises, des essais de traction anisothermes, pilotés en déformation mécanique et plus représentatifs des conditions réelles du procédé de fabrication des composants monogranulaires, ont été mis en place. Ils permettent de reproduire le phénomène d'accumulation de déformation plastique lors d'une descente en température. Les éprouvettes ainsi pré-déformées en conditions anisothermes ont été analysées, avant et après le traitement de mise en solution, afin d'identifier les couples de vitesse de déformation et de refroidissement gouvernant l'apparition de la recristallisation.

L'analyse par EBSD des éprouvettes brutes de déformation anisotherme a permis d'identifier les mécanismes de RX impliqués lors de la fabrication des composants (voir Figure 1). Les inhomogénéités microstructurales, telles que les pores et les couples pore/eutectique, agissent comme des concentrateurs de contraintes et constituent de ce fait les sites privilégiés de germination des grains recristallisés. La croissance de ces grains s'avère extrêmement rapide lors d'une mise en solution supersolus et s'opère préférentiellement dans les dendrites avant d'envahir les espaces interdendritiques.

Une comparaison entre les mécanismes de recristallisation mis en jeu lors des pré-déformations isothermes et anisothermes a été réalisée. Les essais isothermes menés à 800, 1000 et 1100 °C se sont avérés déclencher des mécanismes similaires à ceux observés pour l'ensemble des conditions anisothermes. Une forte cohérence a également été mise en évidence entre les domaines de recristallisation des abaques isothermes et les chemins anisothermes menant à la recristallisation (voir Figure 1).

La nature statique du phénomène de recristallisation a pu être prouvée pour toutes les conditions de pré-déformation testées, offrant ainsi la possibilité de l'éviter par un traitement de relaxation des

contraintes internes accumulées durant la fabrication. Un traitement thermique de relaxation a pu être éprouvé sous certaines conditions de pré-déformation isothermes, mais reste à optimiser pour un trajet de chargement anisotherme.

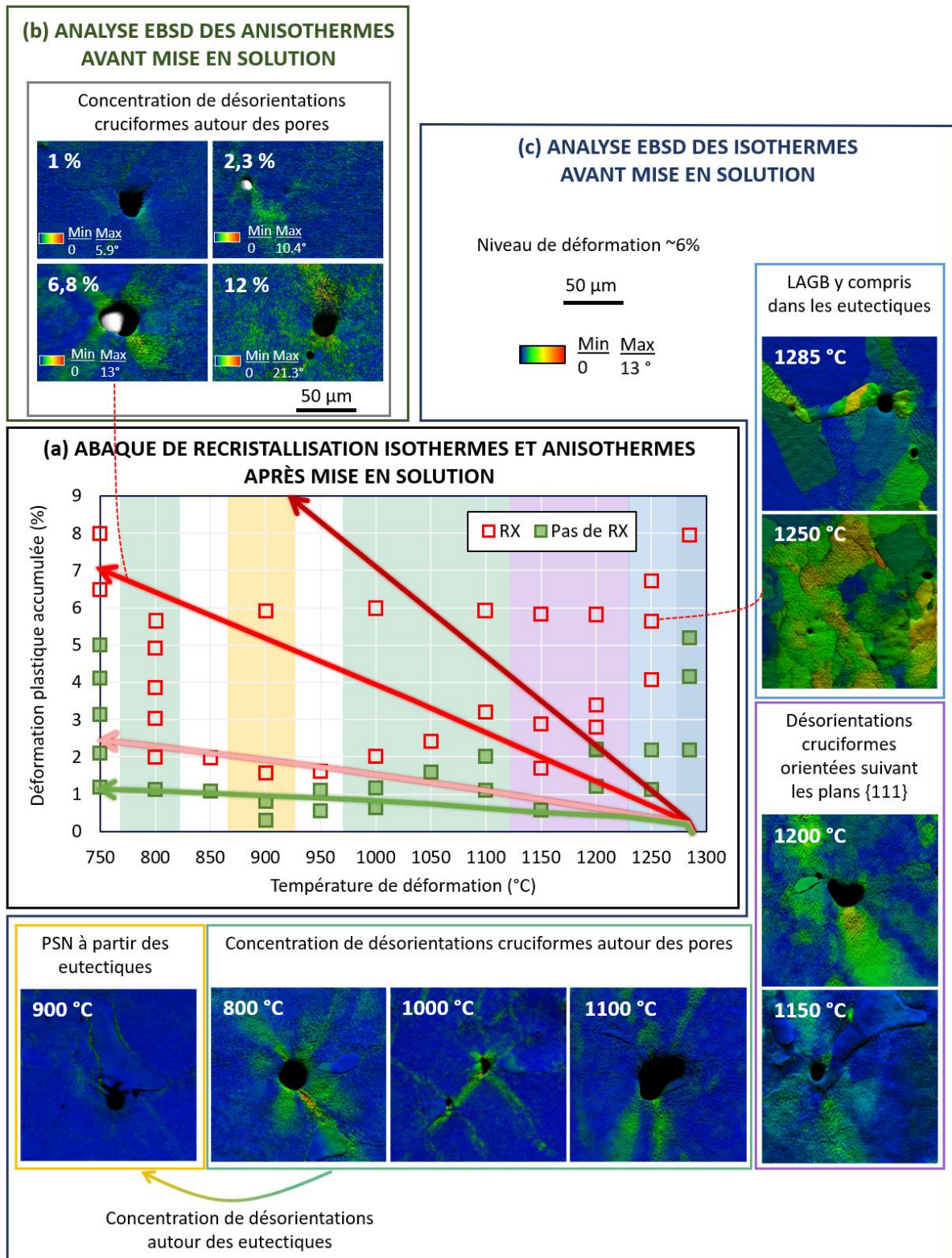


Figure 1: Comparaison suivant différentes pré-déformations isothermes et anisothermes des désorientations cristallines observées aux alentours des pores de solidifications avant mise en solution et des abaques de recristallisation après mise en solution pour l'AM1.