



# Evolution de la microstructure du superalliage base nickel AD730™ au cours des opérations de forgeage industrielles

Suzanne VERNIER

## Mots Clés :

Superalliage base nickel, forgeage, microstructure, recristallisation, précipitation.

## Résumé :

Du fait de leurs très bonnes propriétés mécaniques jusqu'à des températures approchant les 700°C, les superalliages base nickel polycristallins sont utilisés pour la fabrication de disques de turbine (ou compresseur) de moteur d'avion. La voie conventionnelle pour l'élaboration et la mise en forme de ces alliages est la voie dite «coulé-forgé». Ainsi, une première série de forgeages, appelée conversion, est appliquée au lingot coulé afin d'homogénéiser et de raffiner la microstructure. Elle aboutit à un demi-produit appelé billette qui est ensuite forgée/matricée à son tour pour obtenir l'ébauche de la pièce finale. Pour les superalliages  $\gamma$ - $\gamma'$  avec de hautes teneurs en éléments d'alliage, il est courant que l'étape de conversion ne soit pas suffisamment efficace pour complètement homogénéiser la microstructure. C'est le cas pour l'alliage AD730™ récemment mis au point par la société Aubert&Duval, dont les billettes présentent des zones de grains équiaxes recristallisés et des plages restaurées caractéristiques. L'objectif de cette thèse est de comprendre comment les hétérogénéités de microstructure peuvent se résorber pendant les dernières étapes de forgeage menant à la microstructure finale. Après avoir caractérisé les hétérogénéités de microstructure présentes dans les billettes d'alliage AD730™, des essais thermomécaniques simulant un procédé de forgeage ont été appliqués à la billette afin de suivre l'évolution des différentes microstructures locales. Les mécanismes d'évolutions statiques (pendant les traitements thermiques) et dynamiques (pendant la déformation) des zones équiaxes et des plages restaurées ont été caractérisés par microscopie électronique à balayage, EBSD et EDS. Une attention toute particulière est portée à l'influence des précipités  $\gamma'$  sur ces évolutions. Notamment, une interaction front de recristallisation-précipités jusque-là très peu reportée dans la littérature et générant des précipités  $\gamma'$  en quasi relation de macle ou de quasi même orientation que la matrice a été étudiée en détail.

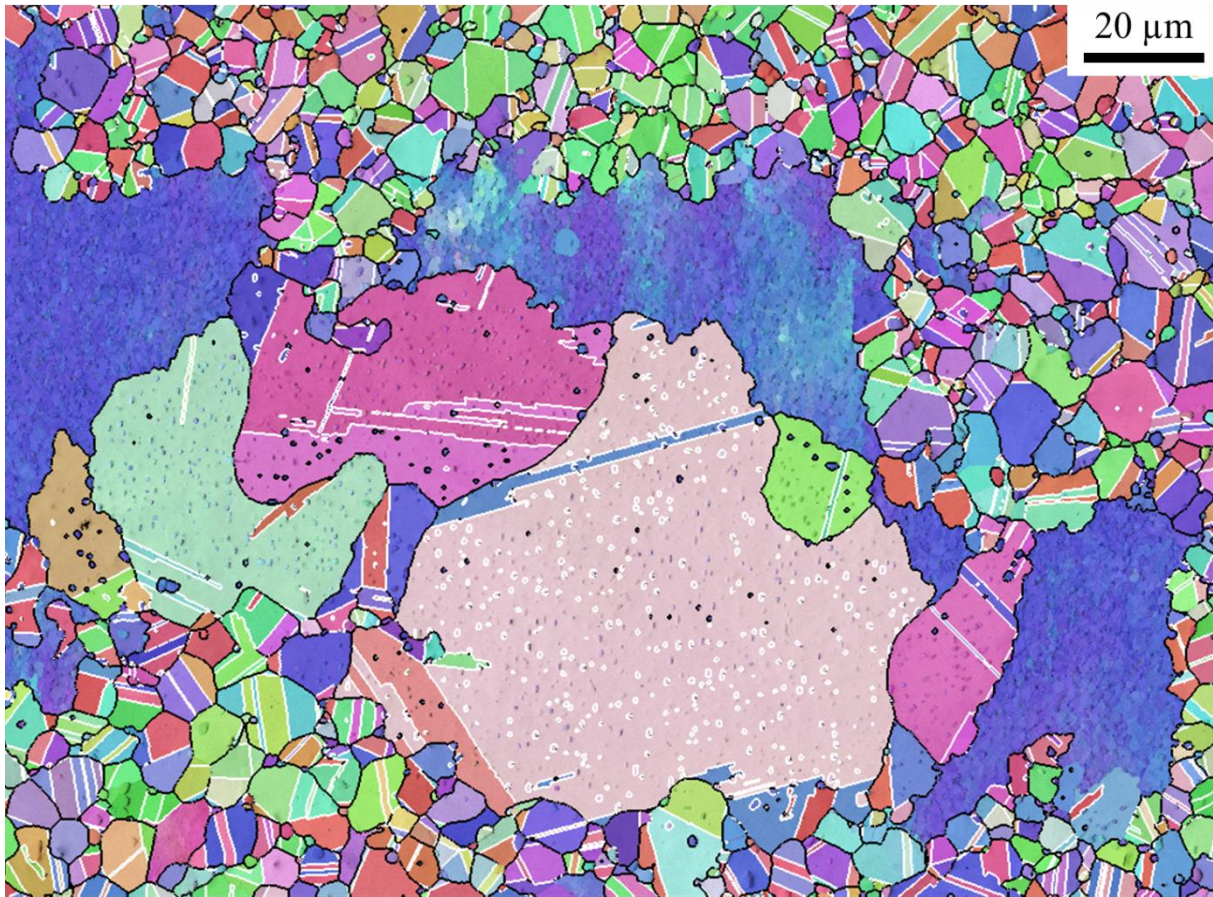
---

## Keywords:

Nickel-based superalloy, forging, microstructure, recrystallization, precipitation.

## Abstract:

Due to their excellent mechanical properties at temperatures up to 700°C, polycrystalline nickel-based superalloys are widely used in aero-engine turbine (or compressor) disk manufacturing. These alloys are usually processed following the conventional "cast-and-wrought" route. During this route, the cast ingot goes through a first series of forging operations which is named "conversion". The goals of the conversion are to homogenize and refine the microstructure. It leads to a semi-finished product called billet. Then, the billet is forged again to obtain a draft of the final part. Yet, for the  $\gamma$ - $\gamma'$  nickel-based superalloys with high contents in alloying elements, it is common that the conversion process does not succeed in fully homogenizing the microstructure. Such is the case of the alloy AD730™ which has been recently developed by the Aubert&Duval Company. Indeed, AD730™ billets show both recrystallized equiaxed areas and characteristic recovered areas. The objective of the current PhD thesis is to understand how such microstructural heterogeneities can disappear during the last forging operations which lead to the final microstructure. First, the microstructural heterogeneities found in AD730™ billets have been characterized. Then, thermomechanical tests which aimed at simulating a forging process have been performed on billet samples in order to follow the evolutions of each local microstructure. The static (during thermal treatments) and dynamic (during deformation) evolutions of both equiaxed and recovered areas have been characterized using scanning electron microscopy, EBSD and EDS. A special attention has been paid to the influence of the  $\gamma'$  precipitates on those evolutions. In particular, a specific interaction between a recrystallization front and  $\gamma'$  precipitates have been studied in detail. This interaction, which has been weakly reported in literature so far, produces  $\gamma'$  precipitates with either an imperfect twin orientation relationship to the matrix or an imperfect cube-cube orientation relationship to the matrix.



*Recristallisation statique d'un grain restauré hérité de l'étape de conversion du lingot en billette - Superaliage base nickel AD730™.*

*Static recrystallization of a recovered grain which has been formed during the conversion of the ingot into the billet - Nickel-based superalloy AD730™.*