

THÈSE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 602

Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes

Spécialité : *Génie Mécanique*

Par

Inès ADDI

Plasticité des matériaux hexagonaux en température : analyses *in situ* et modèles de transition d'échelles

Thèse présentée et soutenue à Saint-Nazaire, le 03/11/2026

Unité de recherche : GeM – Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique – UMR CNRS 6183

Rapporteurs avant soutenance :

Sébastien Allain
Delphine Retraint

Professeur des Universités, Université de Lorraine
Professeure des Universités, Université de Technologie de Troyes

Composition du Jury :

Président : (à préciser après la soutenance)

Examineurs : Damien Faurie
Nathalie Gey
Jean-Charles Stinville

Professeur des Universités, Université Sorbonne Paris Nord
Chargée de recherche, CNRS
Associate professor, University of Illinois Urbana-Champaign

Dir. de thèse : David Gloaguen
Co-dir. de thèse : Pierre-Antoine Dubos
Co-dir. de thèse : Baptiste Girault

Professeur des Universités, Nantes Université
Maître de conférences, Nantes Université
Maître de conférences, Nantes Université

Titre : Plasticité des matériaux hexagonaux en température : analyses *in situ* et modèles de transition d'échelles

Mots clés : matériaux hexagonaux, essais thermomécaniques *in situ*, DRX, EBSD, modélisation multi-échelles

Résumé : Les matériaux à structure hexagonale compacte, tels que le titane (Ti) et le cobalt (Co), présentent des anisotropies thermique, élastique et plastique. Leur déformation résulte de l'activation et de la compétition entre différents mécanismes, notamment le glissement cristallographique et le maclage mécanique, auxquels s'ajoute, dans le cas du Co, une transformation allotropique entre les phases hexagonale et cubique. L'évolution de ces propriétés et des mécanismes de déformation avec la température reste cependant encore peu documentée, alors qu'elle conditionne directement le comportement thermomécanique de ces matériaux. Cette thèse vise ainsi à caractériser l'évolution en température des propriétés thermoélastiques et des mécanismes de déformation en plasticité du Ti et du Co polycristallins. Une méthodologie expérimentale reposant sur des essais thermomécaniques *in situ* a été développée en

combinant la diffraction des électrons rétrodiffusés (EBSD), pour suivre les évolutions microstructurales au cours de la déformation, et la diffraction des rayons X (DRX), pour déterminer les déformations à l'échelle des volumes diffractants. Les mesures par DRX ont été couplées à des modèles micromécaniques auto-cohérents afin de relier les réponses observées à l'échelle du grain à celle du polycristal. Ce travail apporte ainsi de nouvelles données sur les propriétés thermoélastiques et les scissions critiques du Ti et du Co en température, tout en mettant en évidence l'influence de la texture, de la température et des proportions de phase dans l'activation des mécanismes de déformation. Le couplage entre caractérisations *in situ* et modélisation multi-échelle contribue ainsi à une description plus complète du comportement thermomécanique des matériaux hexagonaux.

Title: Plasticity of hexagonal materials in temperature: *in situ* analyses and scale transition models

Keywords: hexagonal materials, thermomechanical *in situ* testing, XRD, EBSD, multiscale modelling

Abstract: Materials with a hexagonal close-packed structure, such as titanium (Ti) and cobalt (Co), exhibit significant thermal, elastic, and plastic anisotropies. Their deformation results from the activation and competition of different mechanisms, including crystallographic slip and mechanical twinning, together with, in the case of Co, an allotropic transformation between the hexagonal and cubic phases. However, their evolution with temperature remains poorly documented. This thesis investigates the temperature dependence of the thermoelastic properties and plastic deformation mechanisms of polycrystalline Ti and Co. An experimental methodology based on *in situ*

thermomechanical testing was developed by combining electron backscatter diffraction (EBSD), to monitor microstructural evolution during deformation, and X-ray diffraction (XRD), to determine strains at the scale of the diffracting volumes. XRD measurements were coupled with self-consistent models to link the responses observed at the grain scale to those of the polycrystal. This work thus provides new data on the thermoelastic properties and critical resolved shear stresses of Ti and Co as a function of temperature, while highlighting the influence of texture, temperature, and phase fractions on the activation of deformation mechanisms.