

# THÈSE

Pour l'obtention du titre de :

DOCTEUR de L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Spécialité: Sciences des Matériaux

Présentée par :

**Elodie BOUCARD**

---

## **Étude de l'influence de l'état métallurgique de l'austénite sur la microstructure de transformation de phase dans les aciers bas carbone**

---

Thèse soutenue publiquement le 10 décembre 2014 à METZ devant le jury composé de :

|                    |   |                           |
|--------------------|---|---------------------------|
| M. Stéphane GODET  | Professeur à l'Université Libre de Bruxelles,<br>Belgique             | Rapporteur                |
| M. Mohamed GOUNE   | Professeur à l'ICMCB, Université de Bordeaux,<br>France               | Rapporteur                |
| M. Philippe BOCHER | Professeur à l'Ecole de Technologie Supérieure<br>de Montréal, Canada | Examineur                 |
| M. Lionel GERMAIN  | Maître de Conférences à l'Université de<br>Lorraine, LEM3, France     | Examineur                 |
| M. David BARBIER   | Research Engineer at ArcelorMittal, Maizières-<br>les-Metz, France    | Invité                    |
| Mme Nathalie GEY   | Chargée de Recherche au CNRS, LEM3,<br>France                         | Co-directrice<br>de thèse |
| M. Albert TIDU     | Professeur à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de<br>Metz, LEM3, France  | Directeur de thèse        |

*LEM3 UMR CNRS 7239, Ile du Saulcy, 57045 METZ*

## Résumé

Ce travail de thèse vise à comprendre l'influence de l'état métallurgique de l'austénite  $\gamma$  à haute température sur les mécanismes de transformation de phase dans deux nuances modèles d'acier bas carbone de composition 0.06%C-2.4%Mn-0.3%Si (CMn-1) et 0.2%C-2.4%Mn-0.3%Si (CMn-2). Une campagne de traitements thermiques a permis de réaliser une analyse cristallographique approfondie des produits de transformation en fonction de la taille de grains  $\gamma$ . Suite aux nombreuses microstructures obtenues, les apports et limites de la reconstruction cristallographique de l'austénite à partir des données EBSD sont définis en fonction des microstructures héritées. Des essais de compression à chaud de l'austénite à 800°C ( $A_{r3}+100^\circ\text{C}$ ) sont ensuite réalisés pour suivre l'évolution des microstructures et microtextures austénitiques en fonction des conditions de déformation pour la nuance CMn-1. Les caractéristiques obtenues par reconstruction cristallographique sont confirmées par une analyse de l'alliage modèle 30%Fe-70%Ni laminé à chaud. Nous avons mis en évidence de fortes désorientations au voisinage des joints de grains et deux sous-structures caractéristiques de la déformation : des grains déformés de manière homogène par glissement planaire et d'autres contenant des microbandes de déformation. Ces structures dépendent des composantes de texture développées dans l'austénite. La formation de bainite en lattes est favorisée au détriment de la martensite lors d'un refroidissement par trempe après déformation, impliquant une diminution de la dureté. Une structure granulaire se développe également le long des anciens joints de grains  $\gamma$  et s'étend à l'ensemble du grain lors d'un maintien bainitique à 525°C. Dans les zones de déformation homogène, les microstructures lamellaires se développent parallèlement à la trace des plans de glissement  $\{111\}_\gamma$  les plus actifs. Tandis que dans les microbandes, la germination de petits domaines bainitiques d'orientations différentes est favorisée.

Mots clés : acier, transformation de phase, déformation, microstructure, texture, reconstruction cristallographique

## Abstract

The thesis aims to understand the influence of the metallurgical state of austenite at high temperature on the phase transformation mechanisms in two model grades of low carbon steel: 0.06%C-2.4%Mn-0.3%Si (CMn-1) and 0.2%C-2.4%Mn-0.3%Si (CMn-2). A series of heat treatments enabled a thorough crystallographic analysis of the transformation products according to the  $\gamma$  grain size. According to the numerous microstructures obtained, the advantages and limits of the crystallographic reconstruction of austenite from EBSD data are defined according the type of inherited microstructures. Finally, hot compression tests at 800°C ( $A_{r3}+100^\circ\text{C}$ ) are performed on the grade CMn-1 to follow the evolution of the austenitic microstructures and microtextures based on strain conditions. The characteristics obtained by crystallographic reconstruction are confirmed by an analysis of the 30%Fe-70%Ni hot-rolled model alloy. We identified high misorientations in the vicinity of grain boundaries and two characteristics deformation substructures: grains homogeneously deformed by planar slip mechanism and grains with deformation microbands. These structures depend on the components of texture developed in the austenite. It was found that the bainitic laths are promoted as the deformation increases to the detriment of the martensite formed by quenching, resulting in a decrease of the hardness. Moreover a granular structure also grows along prior  $\gamma$  grains boundaries and spreads across the grain during isothermal bainite transformation at 525°C. Lamellar microstructures are aligned along the most active slip plans  $\{111\}_\gamma$  in homogeneously deformed grains, while the nucleation of small bainitic areas with different orientations is promoted in the microbands.

Keywords: steel, phase transformation, deformation, microstructure, texture, crystallographic reconstruction