

Chapitre 1

Introduction

Il semble tout à fait clair que la combinaison au sein de la même microstructure de différentes phases de l'acier (ferrite, bainite, martensite) et l'existence de l'effet TRIP (c'est-à-dire une transformation martensitique induite mécaniquement) améliore de façon importante les propriétés de résistance et de ductilité d'aciers faiblement alliés.

Les aciers multiphasés à effet TRIP sont étudiés depuis plusieurs années maintenant et suscitent un intérêt industriel grandissant, non seulement de la part des sidérurgistes mais également de la part des "clients" de ces derniers, à savoir les constructeurs automobiles.

Dans ce contexte, notre projet a pour objectif de trouver des alternatives aux éléments d'alliage actuellement utilisés (silicium et aluminium) pour la genèse de microstructures conférant les propriétés de résistance et de ductilité désirées aux aciers TRIP [Jacq02, Mert01]. En particulier, nous étudierons l'un des plus utilisés en sidérurgie, à savoir le niobium. Notre travail s'attachera donc à comprendre les influences de cet élément d'addition sur les cycles thermiques ou thermomécaniques d'élaboration, ainsi que les conséquences de celui-ci sur les propriétés mécaniques des phases.

1.1 Alternative aux aciers multiphasés à effet TRIP classiques

La genèse de microstructures multiphasées ainsi que la rétention d'austénite à température ambiante (donnant lieu à l'effet TRIP) nécessitent l'addition de certains éléments d'alliage. C'est ainsi que les aciers multiphasés à effet TRIP "classiques" présentent une composition chimique voisine de Fe - (0.1/0.4)% pds C - (1.5/2.5)% pds Mn - (0.5/2)% pds Si et/ou (0.5/2)% pds Al [Jacq08]. Le rôle attribué au Si ou à l'Al consiste en l'inhibition ou le ralentissement de la précipitation de cémentite/carbure lors de la transformation bainitique. De ce fait, la progression de la transformation bainitique est accompagnée de l'enrichissement en carbone de l'austénite résiduelle jusqu'à des niveaux qui permettent de la stabiliser à température ambiante.

Néanmoins, il faut considérer des éléments alternatifs, car le Si et l'Al posent certains problèmes durant les pratiques industrielles (conditions de laminage, de décapage, de recuit, etc.). Les alternatives envisagées dans ce projet concerneront des aciers multiphasés alliés au niobium. Cet élément est couramment utilisé en sidérurgie et pourrait se révéler un excellent substitut. Quelques résultats de la littérature semblent aller dans ce sens [Bleck02, Cbmm01, Hulka01]. Ainsi, des recherches précédentes ont souligné la capacité du niobium d'ajuster la microstructure d'un acier et de modifier ses propriétés mécaniques, représentant ainsi un élément de micro-alliage avec un grand potentiel d'utilisation dans les aciers multiphasés à effet TRIP. Il s'agira donc d'étudier les conditions selon lesquelles des aciers alliés au Nb peuvent amener des améliorations des propriétés mécaniques.

L'objectif du présent travail est d'étudier l'effet d'additions importantes de niobium (jusque 0.12% en poids) sur les transformations de phase ayant lieu durant le traitement thermique imposé aux aciers multiphasés à effet TRIP ainsi que sur la microstructure et les propriétés mécaniques résultantes. Il sera montré que le Nb influence considérablement les différentes transformations de phase ainsi que la recristallisation de la matrice de ferrite se

produisant au cours des traitements thermiques imposés aux aciers à effet TRIP laminés à froid.

Le niobium est utilisé dans les aciers depuis de nombreuses années. Sa solubilité est limitée dans les phases ferritique et austénitique, et il se combine avec le carbone pour former du NbC. Les améliorations des propriétés de l'acier par le niobium sont directement liées à son influence sur la microstructure des alliages fer-carbone. L'addition de niobium dans l'acier a trois effets principaux: (i) il inhibe le grossissement du grain austénitique en cours de réchauffage, (ii) il produit un durcissement par précipitation de NbC dans les produits de transformation à basse température [Grang01, Rain01, Zaja01], et (iii) il retarde usuellement la transformation γ/α lorsqu'il est présent en solution (néanmoins la formation des précipités de Nb lors du laminage retarde la recristallisation de l'austénite, ce qui conduit à une accélération de la transformation γ/α) [Kyung01, Perel02].

Outre les transformations de phase de base (austénitisation et transformation bainitique), le nouvel élément considéré (Nb) rendra nécessaire l'étude des réactions de formation/dissolution des phases supplémentaires qui y sont liées (carbures ou carbonitrides de niobium) [Baik01].

La détermination et l'analyse des propriétés mécaniques, des microstructures et des phases présentes au terme des différents traitements thermiques, permettront de comprendre l'influence du niobium tant sur la thermodynamique que sur la cinétique des transformations de phase se produisant durant ces cycles thermiques de mise en œuvre.

Le but de cette thèse est d'évaluer l'influence de la présence du niobium dans les aciers à effet TRIP, en se focalisant sur les aspects suivants:

- 1) Une étude de l'effet de la présence du niobium sur les propriétés mécaniques et la microstructure d'aciers multiphasés obtenus par le biais d'un traitement thermique TRIP "classique".

- 2) La mise au point d'un traitement thermique modifié permettant l'amélioration des propriétés mécaniques ainsi que l'étude des effets du niobium sur les phénomènes de restauration et de recristallisation se produisant lors du chauffage jusqu'à la température de recuit intercritique.
- 3) L'effet de la présence du niobium en solution solide sur les propriétés mécaniques et la microstructure suite à l'application d'un traitement thermique modifié visant la remise en solution des précipités de niobium.

La thèse sera développée de la façon suivante:

Le Chapitre 2 résume les différents aspects des aciers multiphasés à effet TRIP présentés dans la littérature tels que leur origine, propriétés, applications, procédés d'obtention et principes thermodynamiques. Les influences métallurgiques liées à la présence du niobium dans les aciers sont également présentées.

Le Chapitre 3 est consacré à l'étude des conséquences de l'addition de niobium aux aciers de composition chimique classique pour l'obtention d'aciers multiphasés à effet TRIP. L'influence des conditions de traitement thermique sur les microstructures et les propriétés mécaniques est démontrée.

Dans le Chapitre 4, les conséquences microstructurales de différentes conditions du recuit intercritique seront analysées par la technique EBSD (Electron Backscattered Diffraction) afin de trouver les conditions les plus favorables qui permettront la recristallisation complète de la microstructure.

Le Chapitre 5 est consacré à la mise au point d'un nouveau traitement thermique et à l'étude de l'influence de la présence du niobium en solution solide sur la cinétique de la transformation bainitique et les propriétés mécaniques des aciers multiphasés à effet TRIP.

Finalement, le Chapitre 6 présentera les conclusions générales.

1.2 Références

- [Baik01] S. C. Baik, S. Kim, Y. S. Jin et O. Kwon. "Effects of alloying elements on mechanical properties and phase transformation of cold rolled TRIP steels sheets". ISIJ International, Vol. 41 (2001), N° 3, pp. 290-297.
- [Bleck02] W. Bleck, K. Hulka et K. Papamantellos. "Effect of niobium on the mechanical properties of TRIP steels". Materials Science Forum, Vols. 284-286 (1998), pp. 327-334.
- [Cbmm01] CBMM. "Characteristic features of titanium, vanadium and niobium as microalloy additions to steel". Niobium Information 17/98.
http://www.us.cbmm.com.br/english/sources/techlib/info/others_in_pdf/pdfs/Characteristic.pdf
- [Grang01] R.A. Grange *et al.* "Boron, Calcium, Columbium and Zirconium in Iron and Steel". John Wiley & Sons, Inc, Publishers, 1957.
- [Hulka01] K. Hulka, W. Bleck et K. Papamantellos. "Relationships between heat treatment conditions, microstructure and properties of niobium microalloyed TRIP steel". 41st MSWP Conference Proceeding, Volume 37, 24-27, pp. 67-77.
- [Kyung01] Kyung Jong Lee et Jae Kon Lee. "Modelling of γ/α transformation in niobium-containing microalloyed steels". Scripta Materialia 40 (1999) 831-836.

- [Jacq02] E. Girault, A. Mertens, P. Jacques, Y. Houbaert, B. Verlinden et J. Van Humbeeck. "Comparison of the effects of silicon and aluminium on the tensile behaviour of multiphase TRIP-assisted steels". Scripta Materialia 44 (2001) 885-892.
- [Jacq08] P. Jacques, J. Ladrière et F. Delannay. "On the influence of interactions between phases on the mechanical stability of retained austenite in transformation-induced plasticity multiphase steels". Metallurgical and Materials Transactions A, Volume 32A - N°11 (Novembre 2001), pp. 2759-2768.
- [Mert01] A. Mertens. "Influence of aluminium on the phase transformations during the heat treatments for the processing of multiphase TRIP-assisted steels". Thèse doctorale. UCL, FSA, Unité PCIM, 2002.
- [Perel02] E.V. Pereloma, B.R. Crawford et P.D. Hodgson. "Strain induced precipitation behaviour in hot rolled strip steel". Materials Science and Engineering A299 (2001) 27-37.
- [Rain01] W.M. Rainforth, M.P. Black, R.L. Higginson, E.J. Palmiere, C.M. Sellars, I. Prabst, P. Warbichler et F. Hofer. "Precipitation of NbC in a model austenitic steel". Acta Materialia 50 (2002) 735-747.
- [Zaja01] S. Zajac et B. Jansson. "Thermodynamics of the Fe-Nb-C-N system and the solubility of niobium carbonitrides in austenite". Metallurgical and Materials Transactions B, Volume 29B - N° 2 (Février 1998), pp. 163-176.