

Carbonitruration des aciers faiblement alliés: rôles du carbone et de l'azote sur les réponses mécaniques et métallurgiques

W. Dal'Maz Silva^{1,2} J. Dulcy¹ J. Ghanbaja¹
G. Michel² S. Thibault³ T. Belmonte¹

¹Institut Jean Lamour, Nancy, France

²Institut de Recherche Technologique M2P, Metz, France

³Safran Tech, Magny les Hameaux, France



Partenaires

ASCOMETAL



faurecia



SAFRAN



PSA
GROUPE

POCLAIN
Hydraulics

- 1 Introduction
 - Le projet TTA
 - Traitements thermochimiques
- 2 Modèle de durcissement
- 3 Identification des précipités
 - Formés pendant l'enrichissement
 - Formés lors du revenu
- 4 Conclusions

Objectifs

Développer des modèles permettant par simulation numérique de définir les conditions de traitement optimales pour obtenir des profils carbone/azote maîtrisés, prédir les transformations de phase et évaluer les profils de contraintes résiduelles dans les couches traitées.

Marchés et applications

Pignons, engrenages, éléments nécessitant renforcement de surface pour les industries automobile et aéronautique.

Source : ECM.



Source : Safran Group.

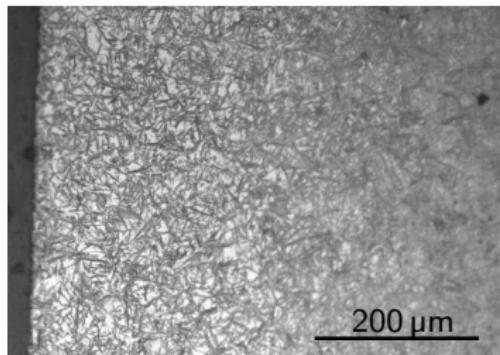


Introduction

Traitements thermochimiques

Analyse

Microstructure, composition...



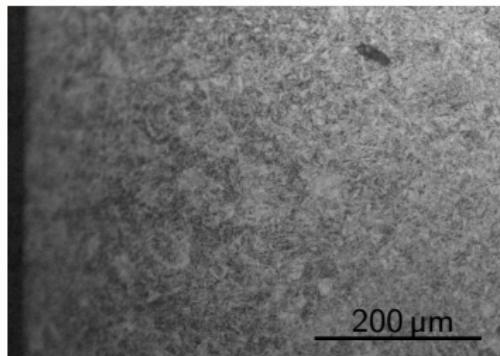
- ▶ **Contexte :** Besoin des matériaux combinant ténacité et résistance à des sollicitations mécaniques superficielles (fatigue de contact, fatigue flexion en pied de dent, usure, ...).
- ▶ **Question :** Rôle de l'azote sur les propriétés des pièces carbonitrurées.
- ▶ **Recherche :** Réponses des aciers faiblement alliés 16NiCrMo13 et 23MnCrMo5.

Introduction

Traitements thermochimiques

Analyse

Microstructure, composition...



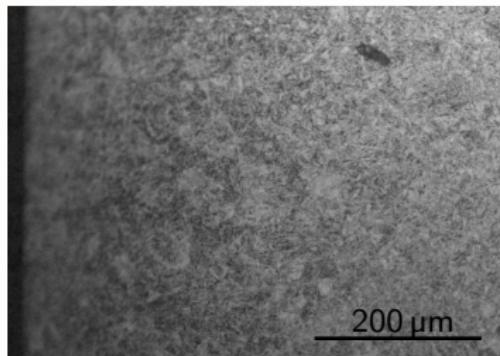
- ▶ **Contexte :** Besoin des matériaux combinant ténacité et résistance à des sollicitations mécaniques superficielles (fatigue de contact, fatigue flexion en pied de dent, usure, ...).
- ▶ **Question :** Rôle de l'azote sur les propriétés des pièces carbonitrurées.
- ▶ **Recherche :** Réponses des aciers faiblement alliés 16NiCrMo13 et 23MnCrMo5.

Introduction

Traitements thermochimiques

Analyse

Microstructure, composition...



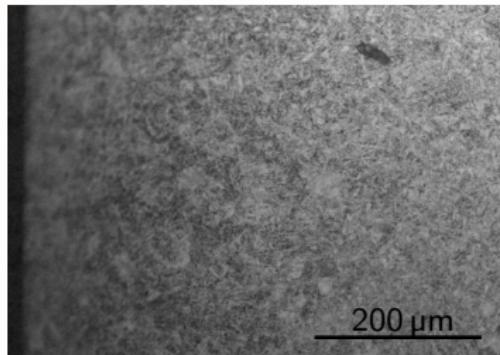
- ▶ **Contexte :** Besoin des matériaux combinant ténacité et résistance à des sollicitations mécaniques superficielles (fatigue de contact, fatigue flexion en pied de dent, usure, ...).
- ▶ **Question :** Rôle de l'azote sur les propriétés des pièces carbonitrurées.
- ▶ **Recherche :** Réponses des aciers faiblement alliés 16NiCrMo13 et 23MnCrMo5.

Introduction

Traitements thermochimiques

Analyse

Microstructure, composition...



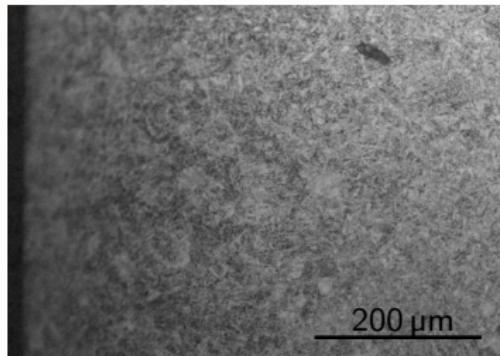
- ▶ **Contexte :** Besoin des matériaux combinant ténacité et résistance à des sollicitations mécaniques superficielles (fatigue de contact, fatigue flexion en pied de dent, usure, ...).
- ▶ **Question :** Rôle de l'azote sur les propriétés des pièces carbonitrurées.
- ▶ **Recherche :** Réponses des aciers faiblement alliés 16NiCrMo13 et 23MnCrMo5.

Introduction

Traitements thermochimiques

Analyse

Microstructure, composition...



- ▶ **Contexte :** Besoin des matériaux combinant ténacité et résistance à des sollicitations mécaniques superficielles (fatigue de contact, fatigue flexion en pied de dent, usure, ...).
- ▶ **Question :** Rôle de l'azote sur les propriétés des pièces carbonitrurées.
- ▶ **Recherche :** Réponses des aciers faiblement alliés 16NiCrMo13 et 23MnCrMo5.

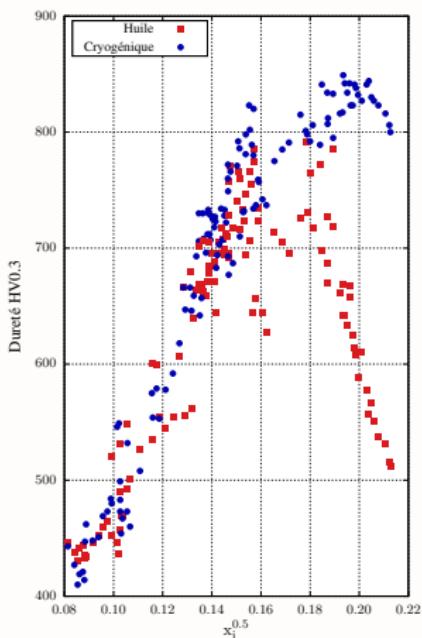
- ▶ Les matériaux ont été enrichis en carbone et/ou azote à une température fixe de 900 °C.
- ▶ Les traitements ont été suivis de trempe huile, traitement cryogénique et revenu à des différentes températures.
- ▶ Caractérisation par la mesure des filiations de dureté, microanalyse chimique et microscopie électronique en transmission.
- ▶ Le logiciel Thermo-Calc est utilisé dans la simulation de l'équilibre de phases.

- ▶ Les matériaux ont été enrichis en carbone et/ou azote à une température fixe de 900 °C.
- ▶ Les traitements ont été suivis de trempe huile, traitement cryogénique et revenu à des différentes températures.
- ▶ Caractérisation par la mesure des filiations de dureté, microanalyse chimique et microscopie électronique en transmission.
- ▶ Le logiciel Thermo-Calc est utilisé dans la simulation de l'équilibre de phases.

- ▶ Les matériaux ont été enrichis en carbone et/ou azote à une température fixe de 900 °C.
- ▶ Les traitements ont été suivis de trempe huile, traitement cryogénique et revenu à des différentes températures.
- ▶ Caractérisation par la mesure des filiations de dureté, microanalyse chimique et microscopie électronique en transmission.
- ▶ Le logiciel Thermo-Calc est utilisé dans la simulation de l'équilibre de phases.

- ▶ Les matériaux ont été enrichis en carbone et/ou azote à une température fixe de 900 °C.
- ▶ Les traitements ont été suivis de trempe huile, traitement cryogénique et revenu à des différentes températures.
- ▶ Caractérisation par la mesure des filiations de dureté, microanalyse chimique et microscopie électronique en transmission.
- ▶ Le logiciel Thermo-Calc est utilisé dans la simulation de l'équilibre de phases.

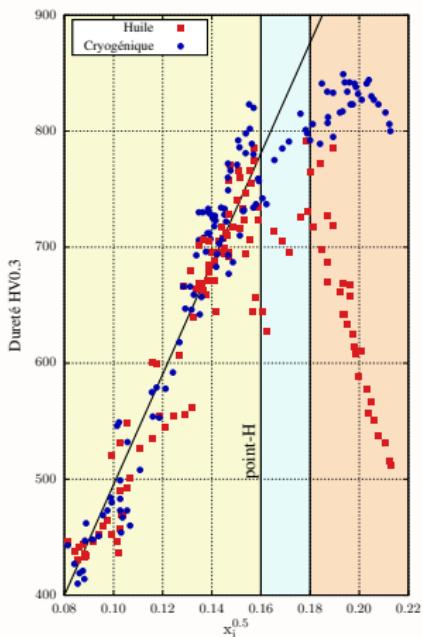
Réponse en durcissement



Résultats

- ▶ Dureté après trempe proportionnelle à la racine carrée de la teneur en interstitiels jusqu'à 0,55% en poids.
- ▶ Cette limite peut être étendue à 0,90% en poids avec la trempe à l'azote liquide vaporisé.
- ▶ Chute en dureté moins importante pour la carbonitruration – comparée à la cémentation – dans la zone enrichie en azote ; évidence de précipitation secondaire pour la nitruration.

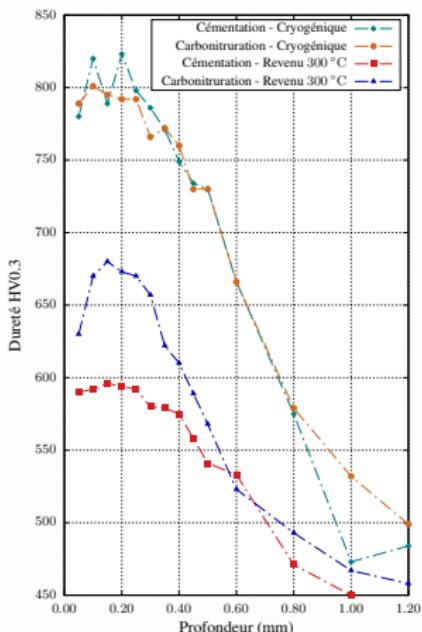
Réponse en durcissement



Résultats

- ▶ Dureté après trempe proportionnelle à la racine carrée de la teneur en interstitiels jusqu'à 0,55% en poids.
- ▶ Cette limite peut être étendue à 0,90% en poids avec la trempe à l'azote liquide vaporisé.
- ▶ Chute en dureté moins importante pour la carbonitruration – comparée à la cémentation – dans la zone enrichie en azote ; évidence de précipitation secondaire pour la nitruration.

Réponse en durcissement



Résultats

- ▶ Dureté après trempe proportionnelle à la racine carrée de la teneur en interstitiels jusqu'à 0,55% en poids.
- ▶ Cette limite peut être étendue à 0,90% en poids avec la trempe à l'azote liquide vaporisé.
- ▶ Chute en dureté moins importante pour la carbonitruration – comparée à la cémentation – dans la zone enrichie en azote ; évidence de précipitation secondaire pour la nitruration.

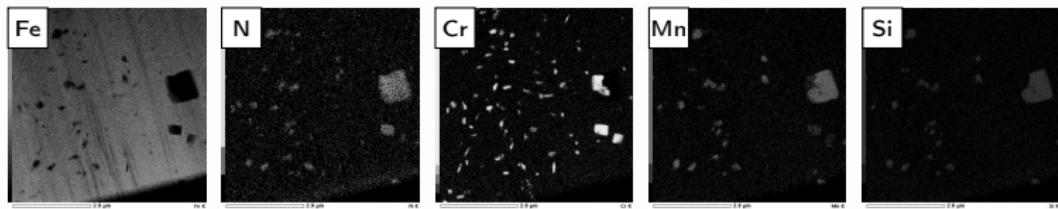
Objectifs :

- ▶ Identifier les précipités formés pendant l'enrichissement en azote ;
- ▶ obtenir des données semi-quantitatives de la fraction de précipités pour comparaison avec les simulations.

Méthodes :

- ▶ Cartographie chimique des éléments nitrurigènes par EDX réalisée par microscopie électronique en transmission ;
- ▶ analyse d'images pour la quantification expérimentale ;
- ▶ simulation thermodynamique.

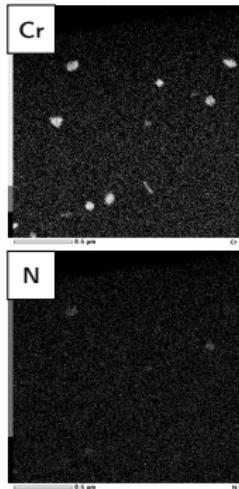
Alliage 23MnCrMo5



Résultats

- ▶ Précipités de composition CrN et Mn₂N ;
- ▶ fraction surfacique de l'ordre de 5% correspondant à 0,8% N en poids ;
- ▶ le Mn₂N n'est pas inclus dans les bases de données thermodynamiques.

Alliage 16NiCrMo13

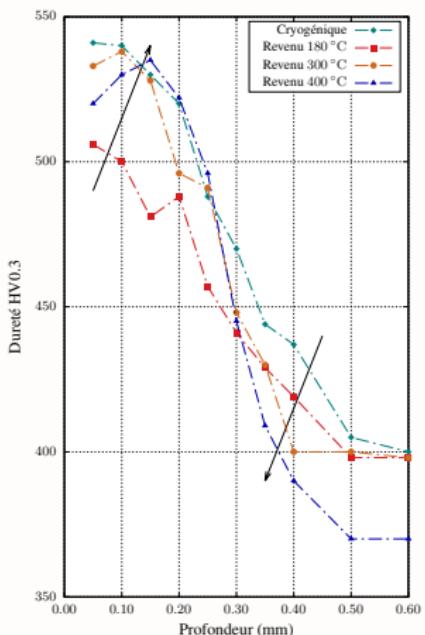


Résultats

- ▶ Uniquement des précipités de composition CrN ont été observés ;
- ▶ fraction volumique estimée à 1% correspondant à une teneur en azote de 0,25% en poids ;
- ▶ les résultats sont en bon accord avec des simulations thermodynamiques (base de données TCFE7).

Réponses au revenu

Nitruration austénitique

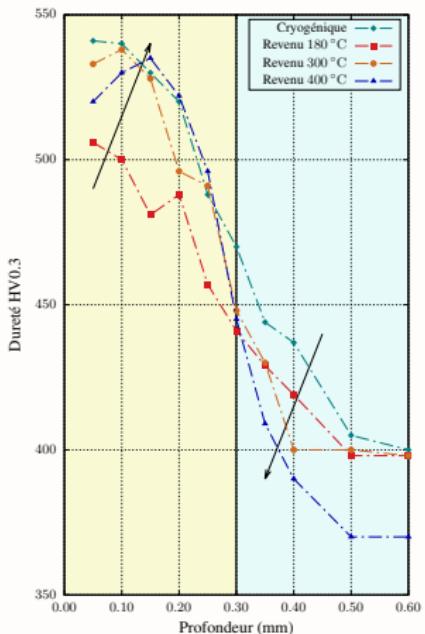


Résultats

- ▶ Chute en dureté tout au long du profil lors du revenu à 180 °C.
- ▶ La dureté en surface remonte aux niveaux de départ si le revenu est réalisé au dessus de 300 °C, cependant que la dureté à coeur chute dans la région non-enrichie en azote.
- ▶ Mise en évidence d'un comportement de précipitation lors du revenu.

Réponses au revenu

Nitruration austénitique

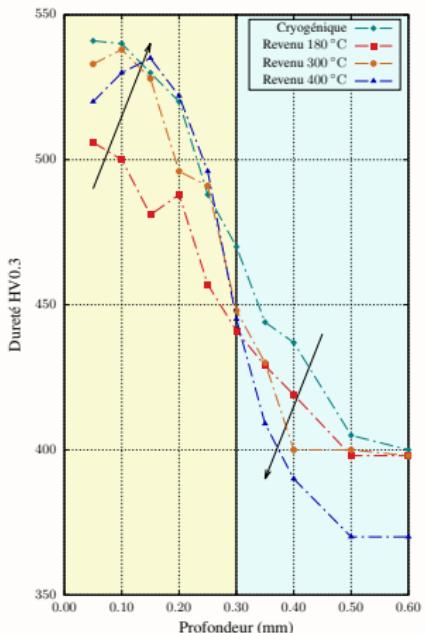


Résultats

- ▶ Chute en dureté tout au long du profil lors du revenu à 180 °C.
- ▶ La dureté en surface remonte aux niveaux de départ si le revenu est réalisé au dessus de 300 °C, cependant que la dureté à cœur chute dans la région non-enrichie en azote.
- ▶ Mise en évidence d'un comportement de précipitation lors du revenu.

Réponses au revenu

Nitruration austénitique



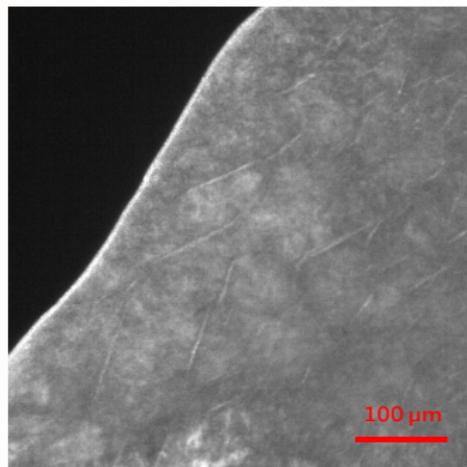
Résultats

- ▶ Chute en dureté tout au long du profil lors du revenu à 180 °C.
- ▶ La dureté en surface remonte aux niveaux de départ si le revenu est réalisé au dessus de 300 °C, cependant que la dureté à coeur chute dans la région non-enrichie en azote.
- ▶ Mise en évidence d'un comportement de précipitation lors du revenu.

Microscopie électronique en transmission

Mécanisme de durcissement

Alliage 16NiCrMo13



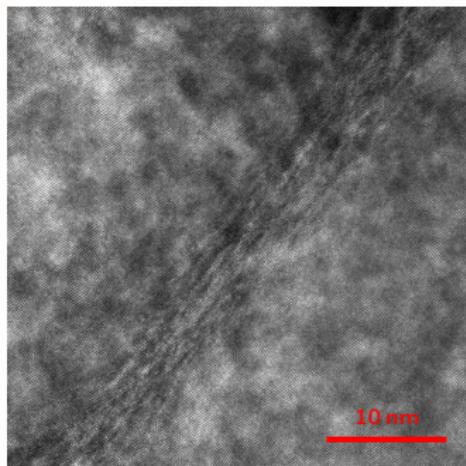
Résultats

- ▶ Identification des zones contenant possiblement Fe_{16}N_2 : différentes échelles de précipités
- ▶ Mise en évidence de précipités nanométriques après le revenu
- ▶ Possiblement lié au comportement observé après nitruration

Microscopie électronique en transmission

Mécanisme de durcissement

Alliage 16NiCrMo13



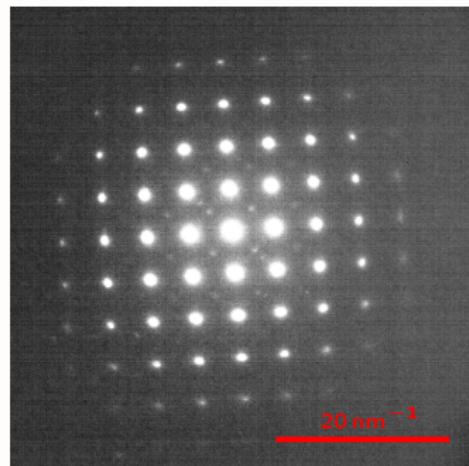
Résultats

- ▶ Identification des zones contenant possiblement Fe_{16}N_2 : différentes échelles de précipités
- ▶ Mise en évidence de précipités nanométriques après le revenu
- ▶ Possiblement lié au comportement observé après nitruration

Microscopie électronique en transmission

Mécanisme de durcissement

Alliage 16NiCrMo13



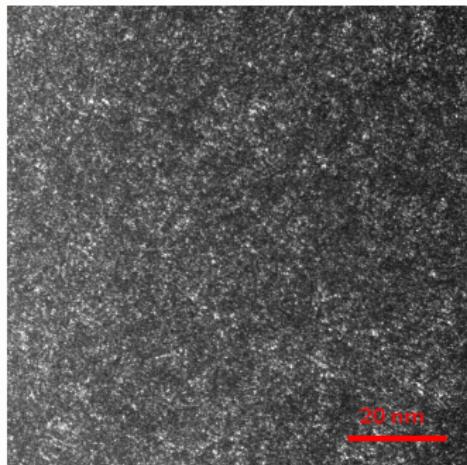
Résultats

- ▶ Identification des zones contenant possiblement Fe_{16}N_2 : différentes échelles de précipités
- ▶ Mise en évidence de précipités nanométriques après le revenu
- ▶ Possiblement lié au comportement observé après nitruration

Microscopie électronique en transmission

Mécanisme de durcissement

Alliage 16NiCrMo13



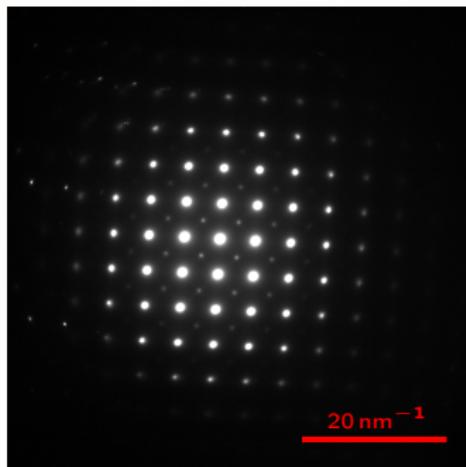
Résultats

- ▶ Identification des zones contenant possiblement Fe_{16}N_2 : différentes échelles de précipités
- ▶ Mise en évidence de précipités nanométriques après le revenu
- ▶ Possiblement lié au comportement observé après nitruration

Microscopie électronique en transmission

Mécanisme de durcissement

Alliage 16NiCrMo13



Résultats

- ▶ Identification des zones contenant possiblement Fe_{16}N_2 : différentes échelles de précipités
- ▶ Mise en évidence de précipités nanométriques après le revenu
- ▶ Possiblement lié au comportement observé après nitruration

- ▶ Le durcissement après trempe et traitement cryogénique est fonction de la teneur en interstitiels (C + N) en solution ;
- ▶ Des précipités du type CrN sont trouvés dans les deux alliages étudiés après enrichissement en azote, sa fraction estimée étant en bon accord avec les simulations thermodynamiques ;
- ▶ L'alliage 23MnCrMo5 présente aussi des précipités du type MnSiN₂ qui ne sont pas inclus dans les bases thermodynamiques de Thermo-Calc ;
- ▶ Le mécanisme responsable du comportement observé lors du revenu de l'alliage 16NiCrMo13 est probablement lié à la formation de nano-précipités du type Fe₁₆N₂.

- ▶ Le durcissement après trempe et traitement cryogénique est fonction de la teneur en interstitiels (C + N) en solution ;
- ▶ Des précipités du type CrN sont trouvés dans les deux alliages étudiés après enrichissement en azote, sa fraction estimée étant en bon accord avec les simulations thermodynamiques ;
- ▶ L'alliage 23MnCrMo5 présente aussi des précipités du type MnSiN₂ qui ne sont pas inclus dans les bases thermodynamiques de Thermo-Calc ;
- ▶ Le mécanisme responsable du comportement observé lors du revenu de l'alliage 16NiCrMo13 est probablement lié à la formation de nano-précipités du type Fe₁₆N₂.

- ▶ Le durcissement après trempe et traitement cryogénique est fonction de la teneur en interstitiels (C + N) en solution ;
- ▶ Des précipités du type CrN sont trouvés dans les deux alliages étudiés après enrichissement en azote, sa fraction estimée étant en bon accord avec les simulations thermodynamiques ;
- ▶ L'alliage 23MnCrMo5 présente aussi des précipités du type MnSiN₂ qui ne sont pas inclus dans les bases thermodynamiques de Thermo-Calc ;
- ▶ Le mécanisme responsable du comportement observé lors du revenu de l'alliage 16NiCrMo13 est probablement lié à la formation de nano-précipités du type Fe₁₆N₂.

- ▶ Le durcissement après trempe et traitement cryogénique est fonction de la teneur en interstitiels (C + N) en solution ;
- ▶ Des précipités du type CrN sont trouvés dans les deux alliages étudiés après enrichissement en azote, sa fraction estimée étant en bon accord avec les simulations thermodynamiques ;
- ▶ L'alliage 23MnCrMo5 présente aussi des précipités du type MnSiN₂ qui ne sont pas inclus dans les bases thermodynamiques de Thermo-Calc ;
- ▶ Le mécanisme responsable du comportement observé lors du revenu de l'alliage 16NiCrMo13 est probablement lié à la formation de nano-précipités du type Fe₁₆N₂.

Merci de votre attention!

Pour plus d'informations:
walter.dalmazsilva@irt-m2p.fr

www.irt-m2p.fr

Passarelle de l'innovation

