

Influence of niobium on the hardening phenomenon and wear in the manganese steel (12% Mn) destined for the railway

Hichem Maouche², Ali Hadji² and Khedidja Bouhamla^{1,2}

¹Welding and NDT Research Centre (CSC), BP. 64, CHERAGA, Unité de Recherche Appliquée en Sidérurgie Métallurgie URASM/CSC, PB 196, Annaba 23000, Algérie

²Laboratoire de Fonderie, Université Badji Mokhtar, BP. 12, Annaba 23000, Algérie

Abstract. This study relates to the manufacture of austenitic manganese steel for the heart switching crossings of railways in all industrial countries where heavy loads are moved by rail. This steel is characterized by a high surface hardness service yard caused by the phenomenon of hardening. According to the microstructure formed after quenching, the transformation of austenite into martensite during working, determine the operating life. The rate of transformation of austenite into martensite can force a compromise between ductility and wear resistance of the steel in order to withstand large forces without breaking. The objective of this study is to improve the resistance to abrasion and friction to cast state and after heat treatment by the addition of niobium. This study permitted to develop a new shade of manganese steel can be integrated into the production of heart of railway switches with better lifecycle.

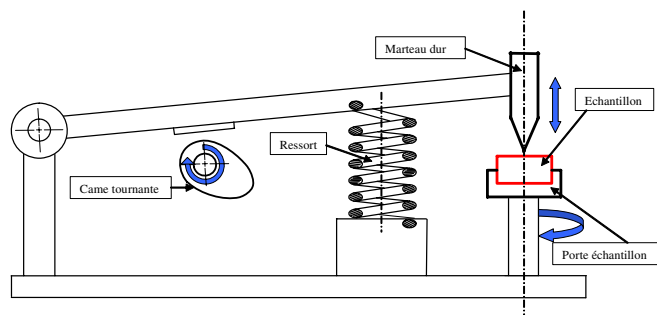
1. Introduction

L'acier Hadfield est un matériau qui est bien connu pour sa haute dureté en cour de service et son grand taux d'érouissage. C'est l'un des excellents matériaux résistants à l'usure qui a couramment été employé pendant les cent dernières années [1]. Grâce à ces propriétés, cet acier est sollicité pour une utilisation accrue dans des applications industrielles telles que les marteaux d'impact, les mâchoires de broyeur, les bandes de roulement de chenille, les rails et les aiguillages de chemin de fer. Les principaux éléments d'alliage dans l'acier Hadfield incluent approximativement 10–14 % Mn et 1–1,4 % C. La teneur élevée en manganèse sert à abaisser l'énergie de défaut d'empilement et à augmenter la solubilité du carbone et de l'azote dans des positions interstitielles [2]. La solubilité des éléments à position interstitielle permet une haute concentration en carbone sans la précipitation de carbures. De plus, le carbone diminue la température de transformation martensitique (M_s) durant la trempe et aussi pendant la déformation. La stabilité structurale des aciers au manganèse dépend de la composition chimique et des sollicitations mécaniques ou thermiques auxquelles il est soumis [3]. Le principal facteur de durcissement de l'acier est, en pratique, la précipitation des carbures. La nécessité de conditionner correctement la précipitation des carbures, c'est-à-dire de provoquer leur formation à l'intérieur de la

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Tableau 1. La composition chimique de l'acier.

Concentration d'élément [poids %]						
C	Mn	Cr	Nb	SI	P	S
1,4	12	1,0	0,05 à 0,3	0,3	0,1	0,03

**Figure 1.** Dispositif utilisé pour l'essai d'érouissage.

matrice est très importante [4]. D'un point de vue général, ce résultat est obtenu pour de nombreux métaux par des opérations de traitement thermique provoquant des transformations structurales qui se résument en une mise en solution des précipités par chauffage à une température suffisamment élevée et un refroidissement rapide [5]. Les travaux de recherche effectués dans ce domaine ont mis en lumière des compositions d'aciers dont la stabilité structurale est supérieure à celle des aciers industriels de qualité courante [1–6]. Il est maintenant bien établi qu'il est inutile de chercher à relier systématiquement les propriétés mécaniques directement à la présence des éléments d'addition sans tenir compte de la proportion de ces derniers, de la teneur en carbone et surtout des traitements thermiques appliqués et de la structure finale [7]. Ce travail porte sur l'amélioration du comportement à l'usure et au choc d'un acier au manganèse destiné à la production d'aiguilles de chemin de fer par l'addition d'éléments d'alliage. L'objectif de cette étude consiste à introduire des éléments d'alliage à caractère carburigène. Il s'agit du niobium ajouté dans une gamme de teneur variant entre 0,1 et 0,3 % avec un pas de 0,05 %.

2. Techniques expérimentales

Les échantillons sont élaborés dans un four électrique à arc industriel. Le niobium est ajouté sous forme de ferro-alliage (Fe-Nb). L'analyse chimique, réalisée par spectroscopie, est présentée dans le tableau 1.

Tous les échantillons ont été traités thermiquement selon les conditions industrielles adoptées. Les échantillons destinés pour microscopies optique et MEB ont été polis selon un jeu conventionnel de papier abrasif et attaqué au Nital 4 %. Les essais d'usures par abrasion et impact ainsi que les essais d'érouissage (Fig. 1) sont effectués dans les mêmes conditions d'exploitations

3. Résultats et discussions

3.1 Métallographie

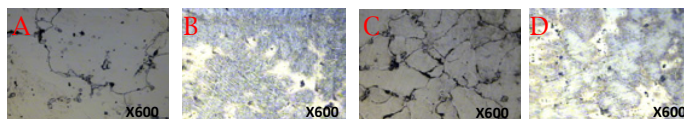
Les micrographies optiques prises sur les échantillons d'aciers étudiés sont présentées par les figures A, B C et D à l'état brut de coulée et après traitement thermique. A l'état brut de coulée, l'acier manifeste une structure constituée de grains d'austénite et de précipitations de carbure de forme et de finesse variable (Fig. A). Après traitement thermique (hypertrempe) (Fig. B), on note une dissolution complète des carbures précédemment identifiés. La matrice manifeste deux plages distinctes d'austénite, l'une

Tableau 2. Microdureté de la couche écrouit.

Acier de base	Acier à 0,25 Nb	Acier à 0,3 Nb
460 à 503 HV	716 à 745 HV	800 à 835 HV

**Figure 2.** Microstructures de l'acier allié au Nb montrant les parties écrouies.

enrichie et l'autre appauvrie en manganèse et en chrome (Fig. B) se distinguant par la couleur. La dissolution des carbures a participé à un enrichissement partiel de la matrice en éléments d'alliage ayant contribué à l'apparition de deux type d'austénite. Les micrographies C et D montrent l'influence de l'addition de 0,3 % de niobium sur la microstructure. Un affinement des grains est nettement observé avant et après traitement thermiques. Les grains sont plus fins par rapport aux figures A et B.



3.2 Ecouissage

L'utilisation de l'essai d'écrouissages sous l'effet d'un marteau (Fig. 1) est nécessaire pour déterminer la résistance au choc de l'acier étudié destiné à la production des pièces de chemin de fer. Ces pièces subissent des heurts importants lors de leur exploitation. C'est pourquoi, cet essai s'avère très intéressant pour simuler les mêmes conditions de travail. La Fig. 2 présente des micrographies des zones écrouies obtenues sur les échantillons étudiés. L'essai d'écrouissage a permis une nette amélioration de la dureté avec un écart de 300 HV entre le cœur et la surface écrouie ceci témoigne de la transformation structurale produite (Fig. 2), le tableau 2 présente les différentes microduretés obtenues.

3.3 Usure par frottement

Les résultats d'usure par frottement après traitement thermique sont présentés par la Fig. 3.

3.4 Usure par impact

L'introduction du niobium a permis une amélioration de la tenue à l'usure par impact pour toutes les teneurs utilisées (Fig. 4).

4. Conclusion

L'intérêt porté sur l'amélioration des propriétés d'exploitation de l'acier austénitique au manganèse ne cesse de grandir car cet alliage occupe une grande place dans plusieurs secteurs industriels et surtout ferroviaire. L'atteinte de cet objectif, nous a conduits à allier cet acier au niobium (élément carburigène)

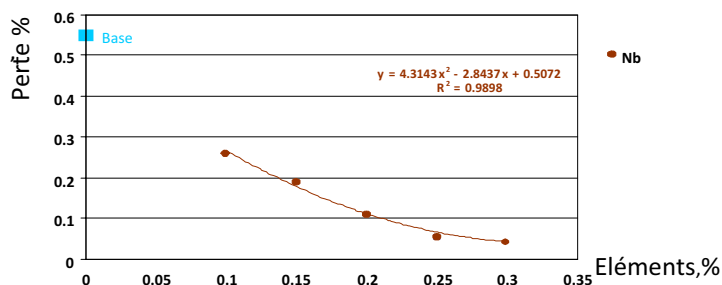


Figure 3. Perte en masse par frottement de l'acier au Nb.

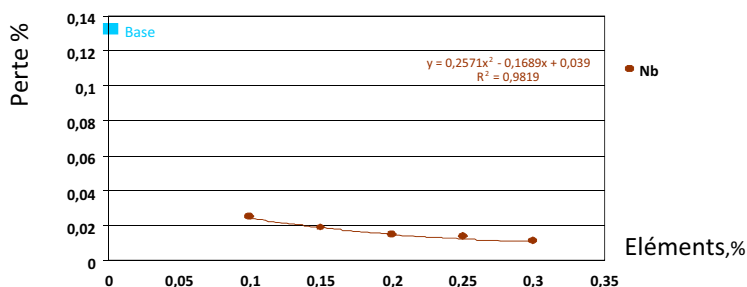


Figure 4. Perte en masse par impact de l'acier au Nb.

à des teneurs variant entre 0,1 % et 0,3 %. Le niobium a eu un effet remarquable sur les structures observées. Les micrographies des différents aciers expérimentés, observées avant et après traitement thermique, ont montré la présence de carbures précipités, de finesse variable par rapport à l'acier de base, dans une matrice austénite grossière. Après traitement thermique, une formation de deux types d'austénites, l'une enrichie et l'autre appauvrie et une dissolution totale des carbures précipités sous l'action de ce traitement d'hypertrempe ont été observés. Quant à la résistance à l'usure, elle est fortement influencée par l'ajout de niobium à l'état brut de coulée et aussi après traitement thermique. Cette étude a conduit à mettre au point une nuance d'acier répondant aux exigences industrielles avec une structure austénitique très stable et très résiliente et une faible adjonction de niobium. La valeur élevée des résistances à l'usure et de dureté après écrouissage de ces aciers permet d'envisager leurs utilisations, après additions de niobium, pour d'autres applications importantes exigeant des propriétés physiques particulières.

Références

- [1] Yuzi Zhang, Yanguo Li, Bo Han, Fucheng Zhang & Lihe Qian. Microstructural characteristics of Hadfield steel solidified under high pressure. Taylor & Francis **31**, No. 4, December 2011, 634–639
- [2] C. Efstathioua, H. Schitoglu, Materials Science and Engineering A **506** (2009) 174–179
- [3] F. Molleda, J. Mora F.J. Molleda, E. Carrillo, E. Mora, B.G. Mellor, Materials Characterization **57** (2006) 300–305
- [4] J. Campbell. The new metallurgy and cast metals, Solidification structure castings, Elsevier, second edition, 2003
- [5] J.W. Christian. Rapid Solidification, the Theory of Transformations in Metals and Alloys, Pergamon edition 2002

- [6] A. A. Nikulina, A. I. Smirnov, and E. Yu. Velikoseł'skaya, Structural Changes in Hadfield Steel under Cold Deformation. *Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques* **7**, No. 1, pp. 172–177, 2013
- [7] R. Ashtana, A. Kumar and N.B. Dahotre, Casting and solidification *Materials Processing and Manufacturing Science*, Butterworth-Heinemann B.H edition 2006