

Introduction générale

L'acier Hadfield est le premier acier de la famille des aciers au manganèse qui a répondu aux exigences de son inventeur en termes de résistance à l'usure. Cet acier est connu par son compromis entre sa ductilité et sa dureté. Généralement, c'est un acier qui ne possède pas de haute dureté mais il a une forte capacité à l'écrouissage au cours de son exploitation. L'acier Hadfield a des teneurs moyennes en carbone et en manganèse de 1.2% et 12% respectivement. Cet acier est particulièrement prometteur pour la fabrication des pièces destinées pour plusieurs applications industrielles à un environnement dominé par l'usure. Cependant, la microstructure austénitique de cet acier lui confère une sensibilité à l'usure qui limite sa durée de vie et incombe au secteur utilisateur des dépenses supplémentaires. Afin d'améliorer le comportement à l'usure de cet acier, les chercheurs ont proposé plusieurs méthodes de durcissement surfacique à savoir : l'application de traitement thermochimiques de nitruration, l'utilisation des dépôts de plusieurs millimètres en diffusant les carbures résistant à l'usure ou des traitements de surface par grenailage ou par choc. Des méthodes de durcissement en masse ont été aussi utilisées comme l'ajout des éléments d'alliage et essentiellement les éléments carburigènes. A cet état, une forte quantité de carbures peut être formée autour des grains austénitiques favorisant une amélioration de la dureté mais conduisant à une fragilité de l'acier. L'application des traitements thermiques a été aussi proposée afin d'obtenir une structure complètement austénitique et enrichie en éléments ajoutés. La structure austénitique dans ce cas ne peut être obtenue qu'après l'application de plusieurs traitements d'austénitisation suivis par des revenus à haute température. Ces opérations sont coûteuses et nécessitent une étude approfondie de chaque étape d'élaboration et une maîtrise des traitements thermiques. A cet effet, l'application de plusieurs traitements thermiques reste rarement utilisée au niveau industriel.

Les objectifs de la présente étude sont doubles :

- Elaboration de plusieurs nuances d'acier au manganèse avec différentes teneurs en carbone et en manganèse et de faibles additions combinées en éléments d'alliage à savoir des éléments gammagènes non carburigènes et des éléments alphagènes et carburigènes.
- Proposition de deux cycles de traitements thermiques.

Introduction générale

Les deux matériaux étudiés sont exclusivement des aciers fortement alliés au manganèse de type Hadfield et un autre acier contenant moins de carbone et de manganèse. Cependant, nous insisterons dans la discussion des résultats sur l'interprétation de chaque gamme et enfin de les comparer entre elles.

Ce travail de thèse permettra de répondre à plusieurs questionnements :

- Quel est l'effet de l'ajout combiné de deux ou plusieurs éléments d'addition ?
- Comment réagit chaque élément d'alliage et quel est l'élément qui a plus d'influence ?
- Quelle est l'influence de la température du traitement thermique sur le changement microstructural et le comportement tribologique des aciers étudiés à l'état sec et lubrifié ?
- Comment se comportent les aciers au manganèse face à des conditions d'usure sévères ?
- Quels sont les mécanismes de durcissement que l'acier au manganèse suit au cours de l'usure ?

Pour ce faire, les travaux qui ont été menés pour achever cette thèse ont été synthétisés en trois chapitres.

Le premier chapitre consiste à une étude bibliographique des domaines abordés. Une première partie consiste à la présentation de l'acier au manganèse, ses caractéristiques et leurs domaines d'application. Dans une seconde partie, une étude sur les méthodes de durcissement de ce type d'acier est présentée. En effet, c'est en se basant sur ce cette étude bibliographique que certaines réponses aux questionnements posés ont été obtenues.

Le second chapitre présente les matériaux et les méthodes utilisés. En particulier l'élaboration des échantillons, l'application des traitements thermiques, la préparation métallographique et enfin les techniques d'analyses utilisées sont aussi abordées.

Le troisième chapitre est consacré à une discussion des résultats obtenus en comparant les microstructures et les comportements tribologiques des aciers élaborés. Finalement, une analyse récapitulative de chaque gamme a été faite afin de mettre en valeur l'effet des éléments ajouté et des traitements thermiques appliqués sur le changement microstructural et le comportement tribologique des aciers expérimentés.

La thèse se termine par une conclusion générale et par des perspectives académiques et industrielles.

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

L'objectif de cette partie vise à faire le point sur les différents travaux réalisés concernant les aciers au manganèse et particulièrement les aciers à haut manganèse. Dans la première partie, nous proposons un rappel sur les aciers résistants à l'usure et nous nous sommes particulièrement intéressés aux aciers au manganèse. Ensuite, nous avons décrit les différentes compositions chimiques standards des aciers au manganèse, leurs domaines d'utilisation, leurs principaux aspects métallurgiques et leurs propriétés de service. L'influence de certains éléments chimiques, considérés dans les différents travaux de recherche déjà réalisés sur la microstructure et les caractéristiques mécaniques, sont ainsi examinées. Enfin, nous nous sommes surtout intéressés aux phénomènes de durcissement des aciers au manganèse.

I.1. Généralités sur les aciers

L'acier est un alliage de fer et de carbone plus d'autres éléments normaux. Les aciers contiennent une teneur en carbone inférieure ou égale à 2%. Cette teneur représente la limite de solubilité du carbone, à une température de 1149°C, dans le fer gamma (γ) de structure cubique à faces centrées (CFC). Un acier sans éléments d'addition est appelé acier courant [1,2]. Ces aciers présentent généralement de faibles propriétés mécaniques. Le développement de ces propriétés se fait par des traitements thermiques, des traitements thermo-chimiques, l'ajout des éléments chimiques ou autres [3-6]. L'une des méthodes la plus utilisée pour l'amélioration des propriétés de service des pièces est l'ajout des éléments d'alliage [7,8]. On appelle acier allié, un acier contenant en plus du fer et du carbone, un ou plusieurs éléments d'addition en proportions suffisantes pour modifier sensiblement au moins une des propriétés de l'acier courant contenant la même teneur de carbone. On distingue des aciers faiblement alliés et des aciers fortement alliés. Dans les aciers faiblement alliés, la teneur d'aucun élément d'alliage ne dépasse 5%. Par contre, dans un acier fortement allié, la teneur d'au moins d'un élément d'addition est supérieure à 5%. L'amélioration des propriétés des aciers exige des connaissances détaillées du domaine d'emploi du matériau. Un environnement dominé par l'usure nécessite l'utilisation des matériaux résistants à l'usure. Parmi ces matériaux, les aciers fortement alliés au manganèse peuvent être considérés. Ces derniers sont destinés à résister à l'usure par frottement, par abrasion et/ou aux chocs [9]. Ils sont les plus connus dans ce domaine depuis les années 1880 et les plus couramment utilisés.

I.2. Aciers au manganèse

L'acier austénitique au manganèse Fe-1.2%C-12%Mn a été découvert en 1882 par Monsieur Robert Hadfield [10,11]. Cette nuance a été la plus répandue dans le domaine de l'usure [12]. La composition chimique originale a été ensuite développée et varie de 1-1,4%C et de 10-14%Mn [13,14]. Au-delà de cette teneur en manganèse et pour un faible pourcentage de carbone ($< 0.6\%C$), d'autres types des aciers au manganèse sont notamment utilisés tels que les aciers TWIP (TWinning Induced Plasticity) dont la teneur maximale en manganèse est de 20% et les aciers TRIP (TRansformation Induced Plasticity) dont le pourcentage de manganèse dépasse les 25%. Pour un pourcentage de manganèse variant entre 20% et 25%, les deux types d'aciers, TRIP et TWIP, peuvent coexister [15,21].

Les aciers austénitiques au manganèse sont recommandés pour diverses industries, à savoir, les cimenteries avec les opérations d'extraction, de concassage, de broyage et de calibrage, les mines, les carrières et l'industrie de recyclage. Ils sont aussi utilisés pour les fonds de benne grâce à leurs qualités de résistance aux impacts violents, dans les bétonnières portées, dans les tambours de mélangeurs etc. [22,24]. D'autres applications incluent les marteaux à fragmentation et les grilles pour le recyclage automobile et les applications militaires tels que les patins de la voie du réservoir. Une autre utilisation importante concerne les voies ferrées au niveau des aiguillages (figure I.1) où les impacts de roues aux intersections sont particulièrement sévères. Vu la résistance à l'usure métal-métal des aciers austénitiques au manganèse, ils sont utilisés dans les pignons, engrenages, roues, chaînes de convoyage et les plaques d'usure [25,28].

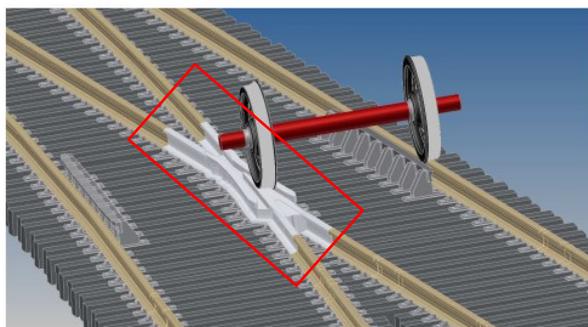


Figure I.1. Utilisation de l'acier Hadfield dans les chemins de fer [28]

Les propriétés d'utilisation de ces aciers sont fortement liées à leurs compositions chimiques et d'autres paramètres.

I.2.1. Composition chimique

De nombreuses nuances de l'acier austénitique au manganèse de base ont été proposées, mais seulement quelques-unes ont été adoptées comme améliorations significatives de la microstructure et des caractéristiques mécaniques. Celles-ci impliquent généralement des variations de la teneur en carbone ou en manganèse ou les deux ensembles, avec ou sans autres éléments d'addition tels que le chrome, le nickel, le molybdène, le vanadium et le titane etc. Les compositions chimiques citées dans le standard ASTM A 128 sont indiquées dans le tableau I.1 [29].

Recherche bibliographique

Tableau I.1. Standard des compositions chimiques de différentes nuances des aciers austénitiques au manganèse coulés [29]

Nuance ASTM A 128	Composition, %						
	C	Mn	Cr	Mo	Ni	Si (max)	P (max)
A	1.05-1.35	11.0 min	...	...	...	1.00	0.07
B-1	0.9-1.05	11.5-14.0	...	...	...	1.00	0.07
B-2	1.05-1.2	10.5-14.5	...	...	...	1.00	0.07
B-3	1.12-1.28	10.5-14.5	...	...	...	1.00	0.07
B-4	1.2-1.35	10.5-14.5	...	...	...	1.00	0.07
C	1.05-1.35	10.5-14.5	1.5-2.5	...	...	1.00	0.07
D	0.7-1.3	10.5-14.5	...	...	3.0-4.0	1.00	0.07
E-1	0.7-1.3	10.5-14.5	...	0.9-1.2	...	1.00	0.07
E-2	1.05-1.45	10.5-14.5	...	1.8-2.1	...	1.00	0.07
F	1.05-1.35	6.0-8.0	...	0.9-1.2	...	1.00	0.07

L'étude microstructurale des aciers austénitiques au manganèse nécessite une compréhension approfondie de l'influence des éléments composants.

Le carbone est un élément gammagène, c'est-à-dire, il stabilise la phase austénitique γ jusqu'aux basses températures [30]. Dans les aciers au manganèse, la teneur en carbone varie entre 0.7%-1.4%. En proportion élevée, le carbone ne peut pas être totalement retenu en solution solide. Une partie se trouve en insertion dans la phase gamma (γ) et une autre partie forme des carbures de type M_3C ($(Fe,Mn)_3C$) [14]. Le pourcentage du carbone influe principalement sur la grosseur de la cémentite formée. Plus la teneur en carbone dans l'acier est élevée, plus la cémentite devient grosse. La figure I.2 confirme cette constatation [31]. Cette dernière représente deux types d'acier hypereutectoïdes avec deux teneurs en carbone différentes (1.15% et 1.61%). La figure montre que la cémentite formée dans la microstructure de l'acier contenant 1.61%C est plus épaisse que celle formée dans la microstructure de l'acier à 1.15%C.

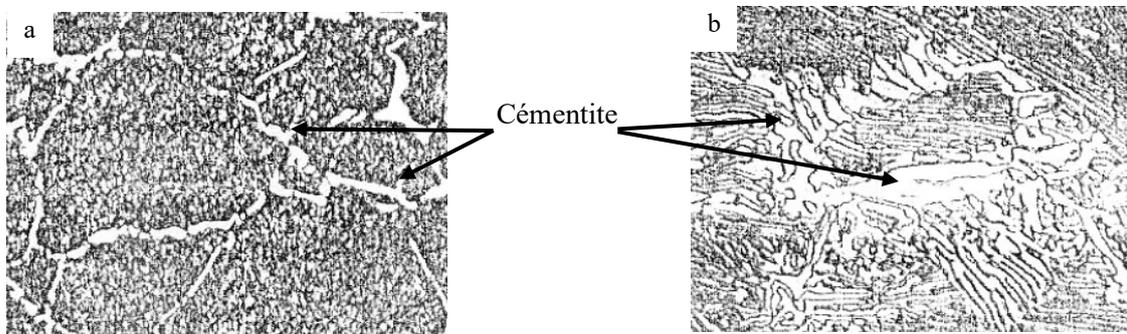


Figure I.2. Micrographies optiques d'un acier hypereutectoïdes, a : 1.15%C, b : 1.61%C [31]

Recherche bibliographique

Le manganèse est également un élément gammagène. Les aciers au manganèse présentent des structures entièrement austénitiques à partir d'une teneur en manganèse de l'ordre de 10%. La figure I.3 [32] présente des diagrammes ternaires Fe-Mn-C avec différentes teneurs en manganèse (2.5%, 4.5% et 13%). D'après ces diagrammes, le domaine d'existence de la phase gamma (γ) s'élargit avec l'augmentation de la teneur en manganèse, c'est-à-dire le manganèse rend l'austénite stable jusqu'aux basses températures.

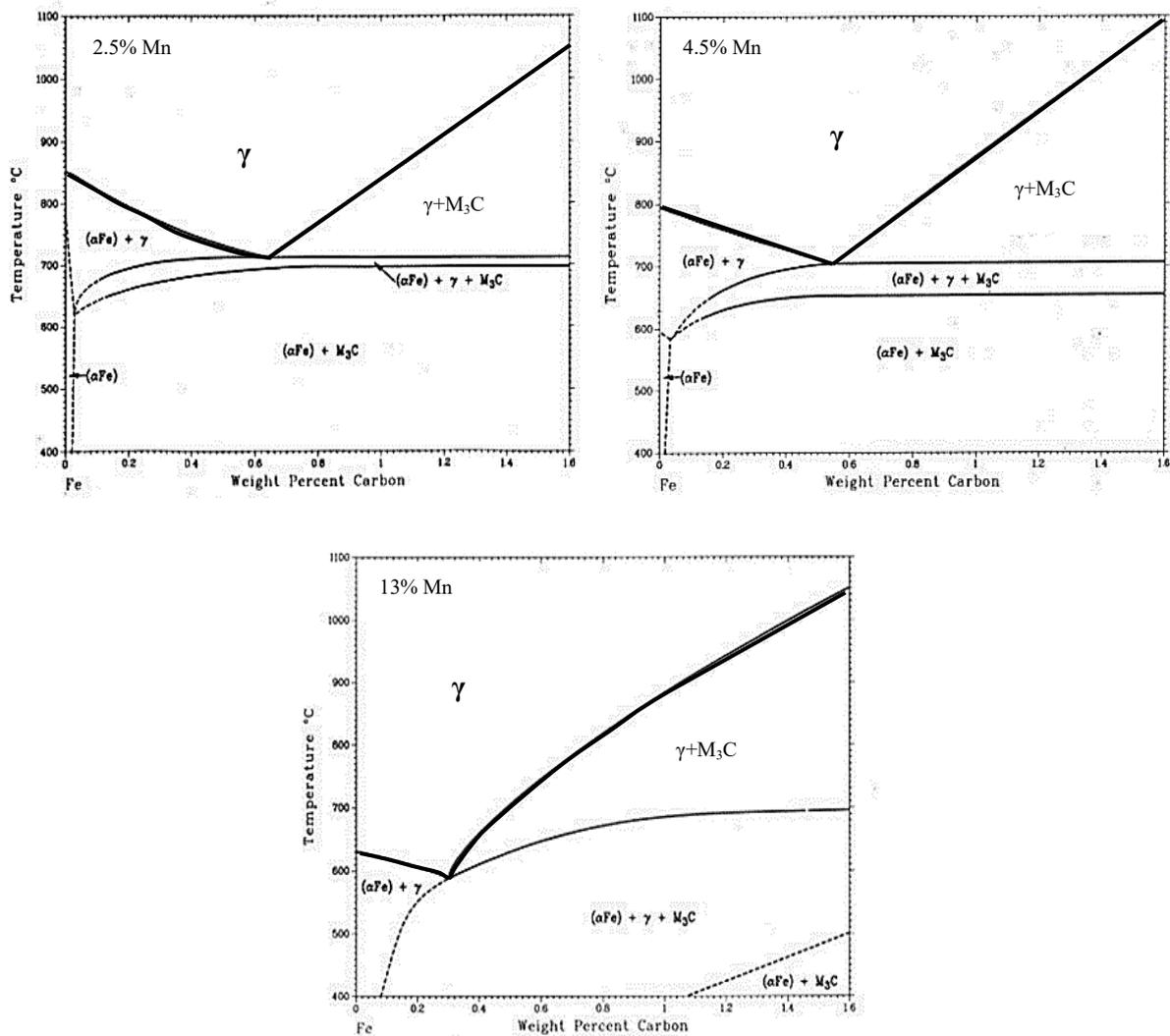


Figure I.3. Diagramme de phase ternaire Fe-Mn-C avec différentes teneurs en manganèse, 2.5%, 4.5% et 13% [32]

Le manganèse est un élément faiblement carburigène, il réduit l'activité du carbone dans l'austénite sans former son propre carbure. Dans les aciers, le manganèse se dissout seulement

dans la cémentite [11]. La section du système Fe-Mn-C calculée à 600°C pour un équilibre stable avec du graphite est représentée par la figure I.4. Cette figure illustre que le domaine d'existence de la cémentite s'étend jusqu'au système binaire Fe-C. Le manganèse dissout dans la cémentite favorise sa stabilité [12].

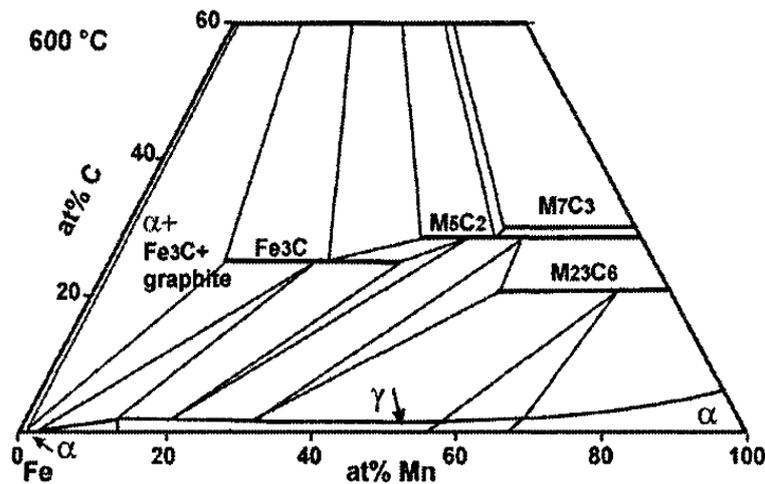


Figure I.4. Variation of Ms temperature with carbon and manganese contents
Section isotherme à 600°C du système Fe-Mn-C [12]

Le silicium et le phosphore font également partie de la composition principale des aciers au manganèse. D'après le tableau I.1, l'acier au manganèse résistant à l'usure contient généralement un pourcentage de silicium qui ne dépasse pas 1%. Une teneur en silicium supérieure à 1% est néfaste pour ce type d'aciers. Un pourcentage de silicium variant entre 1 et 2% peut être utilisé pour augmenter la limite d'élasticité à un degré modéré, mais d'autres éléments sont préférés pour cet effet. Un acier au manganèse contenant plus de 2.3% de silicium peut être sans valeur. D'autre part, des niveaux de silicium inférieurs à 0.10% altèrent la coulabilité de l'acier [30]. Selon la norme ASTM A 128, l'acier austénitique au manganèse peut contenir jusqu'à 0.07% de phosphore. Or, une teneur en phosphore en dessous de 0.04% est préférable pour cet acier. Au-delà de cette teneur, un eutectique ternaire Fe-(Fe,Mn)₃C-(Fe,Mn)₃P se forme le long des joints de grains [33]. Ce dernier est indésirable car il altère les propriétés de l'acier. Une diminution maximale du pourcentage de phosphore est souhaitable surtout pour les pièces de grandes sections.

I.2.2. Solidification

Les aciers austénitiques au manganèse sont élaborés dans des fours électriques à arc avec des températures supérieures à 1500°C. Ces aciers sont ensuite coulés à des températures de l'ordre de 1470°C. La diminution de la température de coulée contribue à la formation de la structure fine. Une vitesse de solidification accélérée empêche le grossissement des grains austénitiques et affine ainsi la structure de l'acier [34].

La solidification des aciers austénitiques au manganèse commence par la précipitation de l'austénite et se prolonge jusqu'à 800°C [32]. A 600°C, des carbures secondaires de type M_3C apparaissent et croissent avec la diminution de la température de solidification [35]. La figure I.5 [32] illustre les étapes de solidification des aciers au manganèse en fonction de la température de refroidissement.

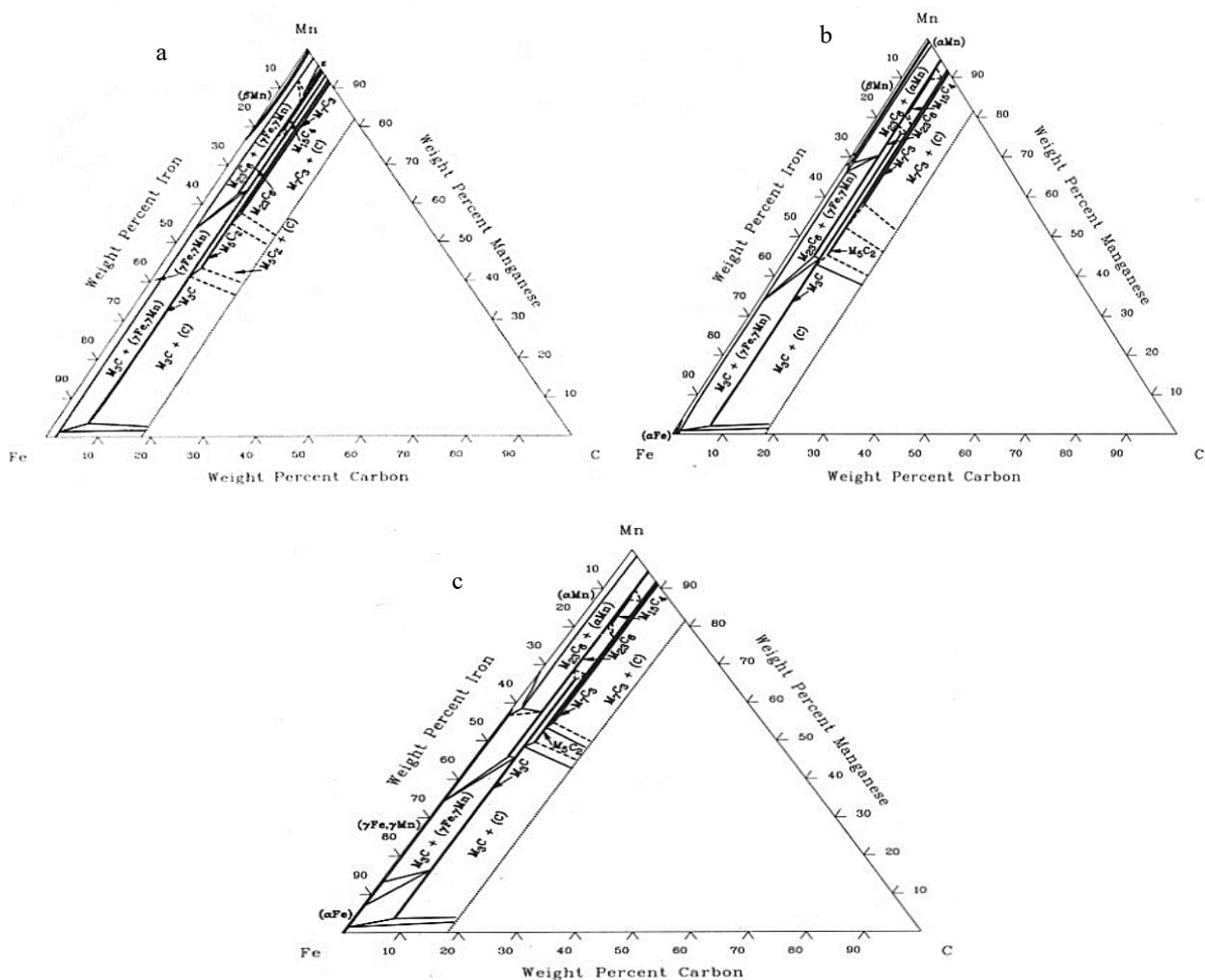


Figure I.5. C-Fe-Mn isothermal section at 1000°C (a), at 800°C (b) and at 600°C (c).
Sections isothermes du système Fe-Mn-C, a : à 1000°C, b : à 800°C et c : 600°C [32]

La quantité et la taille de ce dernier varient proportionnellement avec la diminution de température de refroidissement. A la fin de la cristallisation et à l'état brut de coulée, la microstructure des aciers au manganèse contenant 0,7-1,4% C et de 10-14,5% Mn à la température ambiante est constituée d'austénite et de carbure $(Fe,Mn)_3C$ précipité aux joints de grains (figure I.6) [33].

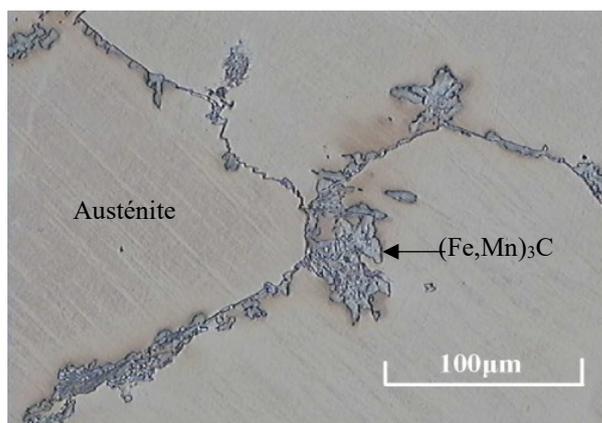


Figure I.6. Micrographie optique d'un acier au manganèse à l'état brut de coulée [33]

I.2.3. Caractéristiques mécaniques des aciers au manganèse

Les aciers au manganèse dont les compositions chimiques mentionnées dans le tableau I.1 sont particulièrement prometteurs pour la fabrication des pièces destinées à travailler à des conditions sévères. Ils combinent une ténacité et une ductilité élevées à une grande capacité de durcissement au travail, une bonne résistance à l'usure et un faible taux de propagation des fissures [36-39]. Il est bien connu que les deux principales caractéristiques mécaniques recherchées pour ces aciers sont la dureté et la résistance à l'usure. Ces caractéristiques varient proportionnellement. C'est-à-dire, la résistance à l'usure augmente avec l'augmentation de la dureté et vice versa [40,41]. Les aciers austénitiques au manganèse ne présentent pas une dureté assez élevée, mais ils sont caractérisés par une aptitude à l'érouissage remarquable sous l'effet de chocs [42-44]. Ces aciers sont connus par leur excellente résistance à l'usure surtout pour les applications impliquant un contact métal-métal. Un contact à sec et à faibles températures entre un métal et un acier au manganèse confère à ce dernier un durcissement à la surface de contact [45-47]. Les charges de compression, plutôt

que les chocs, fournissent une déformation de la surface. Ce qui fait que l'acier au manganèse non seulement s'use moins que les autres aciers lors de son contact avec d'autres métaux, mais il développe également une surface lisse et dure (jusqu'à 600 HB) et offre une bonne résistance au frottement toute en gardant une meilleure ductilité au cœur [48]. La présence des carbures dans la structure des aciers au manganèse les rend difficilement usinables et ne peuvent être mis en forme ainsi que par moulage. Les caractéristiques mécaniques des aciers au manganèse sont influencées par plusieurs paramètres, à savoir, les teneurs en manganèse et en carbone, la température de coulée, le type du moule, les dimensions de la pièce et d'autres paramètres. Les premières recherches étaient basées sur l'influence de la variation des teneurs en carbone et en manganèse. Pour les aciers austénitiques au manganèse, une teneur en carbone inférieure ou égale à 1.2% est préférable même si elle réduit la ductilité. Un pourcentage de carbone supérieur à 1.4% est rarement utilisable en raison de la formation des réseaux des carbures autour les joints des grains austénitiques [49]. Ces carbures durcissent efficacement l'acier et améliorent sa résistance à l'usure mais altèrent sa ductilité [50]. Dans le but d'étudier l'influence de la teneur en carbone sur la ductilité d'un acier au manganèse, des mesures de l'allongement ont été prises en faisant varier le pourcentage du carbone de 0.4% à 1.7%. La figure I.7 résume l'effet du carbone sur l'allongement d'un acier à 13% de manganèse. Cette figure montre que l'allongement augmente avec l'augmentation de la teneur en carbone pour atteindre une valeur de 40% à une teneur en carbone de 1.2%. Au-delà de

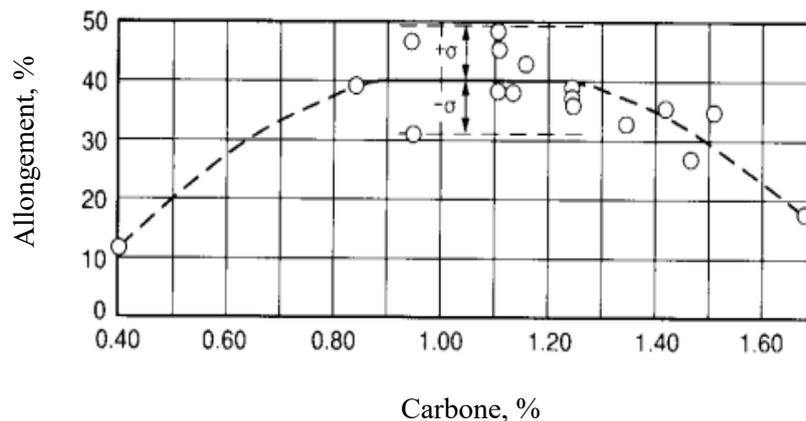


Figure I. 7. Variation de l'allongement d'un acier à 13%Mn en fonction de la teneur en carbone [50] cette valeur, l'allongement décroît avec l'augmentation de la teneur en carbone jusqu'à 18% à 1.7% de carbone.

Le manganèse à son tour améliore la dureté de l'acier au manganèse mais son influence est différente à celle du carbone. Selon les règles de Hume-Rothery, le manganèse forme avec le fer gamma (γ) une solution solide totale [51]. Au cours de refroidissement, l'austénite rejette le manganèse en excès. Ce dernier participe à la formation d'autres composés (carbures, intermétalliques,...etc.) [52,53]. Dans les aciers au manganèse, où la teneur en cet élément varie entre 6 et 14% et celle en carbone de 0.7 à 1.4% (tableau I.1), le manganèse se trouve principalement dissous soit dans l'austénite et/ou dans la cémentite [54,55]. Une teneur en manganèse inférieure à 14% améliore à la fois la dureté et la ductilité de l'acier [56]. Au-delà de cette teneur, la ductilité diminue. La figure I.8 [56] montre l'influence de la teneur en manganèse sur la ductilité d'un acier à 1.5% C.

La combinaison du manganèse et du carbone en teneurs élevées favorise la formation des carbures durs de type M_7C_3 et $M_{23}C_6$ [57,58]. La présence de ces carbures dans la microstructure de l'acier le rend plus dur, fragile et altère sa ductilité. Ce qui explique la diminution de la ductilité de l'acier en manganèse lorsque la teneur en ce dernier dépasse 14% [59].

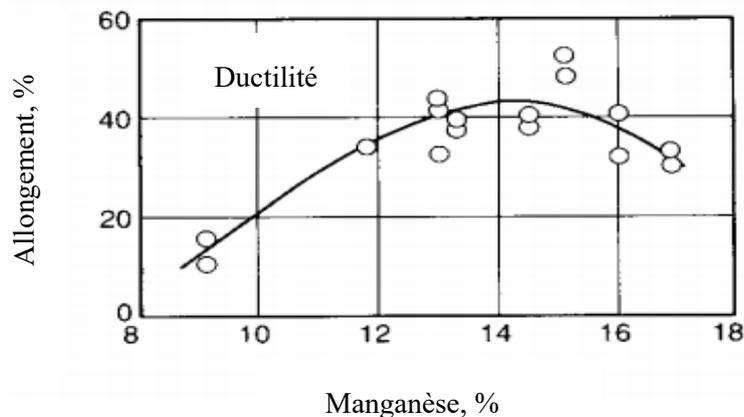


Figure I.8. Variation de la ductilité en fonction de la teneur en manganèse d'un acier à 1.5%C [56]

Comparés à la plupart des autres alliages ferreux résistants à l'usure par abrasion, les aciers au manganèse ont une ténacité supérieure et un coût modéré. C'est spécialement pour ces raisons qu'ils sont sélectionnés pour une grande variété d'applications abrasives. Mais ils sont généralement moins durs et moins résistants à l'usure abrasive par rapport aux fontes au chrome. M.M. Atabaki et al [60] ont comparé le comportement à l'usure abrasive d'un acier au manganèse à 1.3%C et 14%Mn à celui d'une fonte au chrome à 2.9% C et 17% Cr. Les

auteurs ont utilisé la méthode <<Pin-on-disk>> pour étudier le comportement ces matériaux contre un pion en acier à roulement d'une dureté de 63 HRC. Le test d'usure a été réalisé à sec avec une distance et une vitesse de glissement de 1000 m et 0.1 m/s respectivement sous trois forces différentes 114, 152, et 190N. La perte de masse a été mesurée après chaque 100m de parcours. Il ressort de cette étude qu'avant le test d'usure, l'acier Hadfield présente une structure purement austénitique avec une dureté de 28 HRC. Quant à la fonte au chrome, elle montre une microstructure constituée de martensite, d'austénite résiduelle, de carbures de type M_7C_3 et une faible quantité de carbures secondaires. A cet état, la dureté de la fonte est de 57 HRC. Après le test d'usure, une amélioration de la dureté a été marquée pour les deux matériaux, 52 HRC pour l'acier Hadfield et 63 HRC pour la fonte au chrome. De ces résultats, il est remarquable que l'acier Hadfield a subi plus de durcissement que la fonte au chrome. Ceci est justifié par la formation de la martensite sur la surface de contact de l'acier Hadfield. Le pion a perdu plus de masse lorsqu'il est frotté contre la fonte au chrome pour les trois forces appliquées. L'existence des carbures de type M_7C_3 et les carbures secondaires dans la matrice de la fonte au chrome explique bien l'augmentation de la dureté de cette dernière par rapport à l'acier Hadfield. Ces carbures de dureté de 1117 HV rendent la matrice plus dure et use plus le pion. Le coefficient de frottement des deux matériaux a été ainsi mesuré (figure I.9). Ce dernier est compris entre 0.1 et 0.3 pour l'acier Hadfield et entre 0.34 et 0.43 pour la fonte au chrome. Le coefficient de frottement est en relation direct avec la force appliquée, il vari proportionnellement avec la variation de la force appliquée.

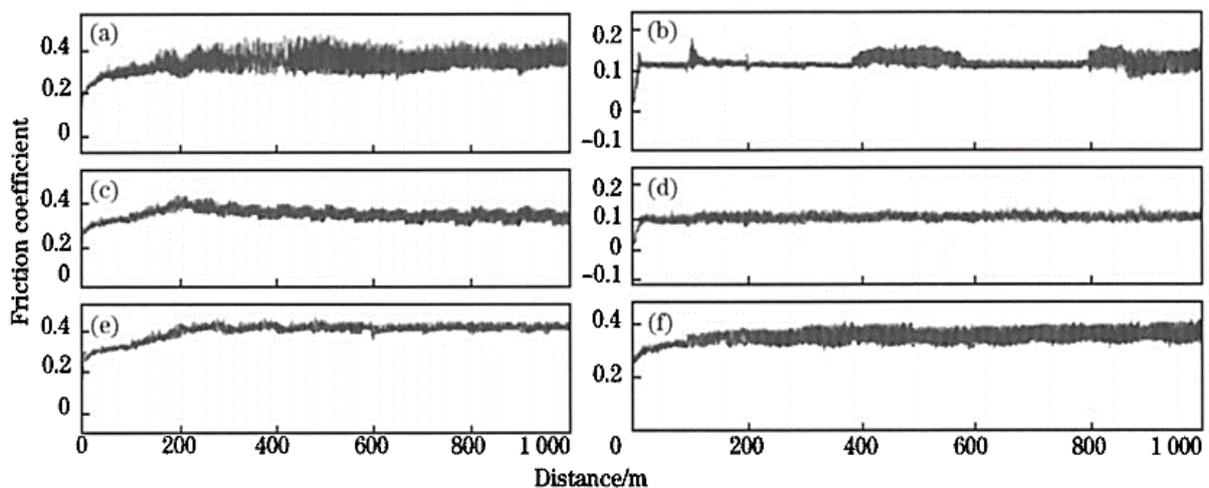


Figure I.9. Variation of friction coefficient under different loads.

Variation du coefficient de frottement en fonction de la distance de glissement d'une fonte au chrome (a) et d'un acier Hadfield sous différentes charges [60]

La capacité à l'écrouissage fait également partie des propriétés intéressantes des aciers au manganèse. Ces aciers sont connus par leur excellente capacité à l'écrouissage sous l'effet de chocs. Le comportement à l'écrouissage des aciers au manganèse a suscité l'intérêt de plusieurs chercheurs [18,23] en vue d'estimer la capacité à l'écrouissage de ces aciers et connaître les changements microstructuraux qui peuvent apparaître en cours de service afin de pouvoir élaborer de nouvelles nuances plus adaptées [66]. Dans une étude comparative entre des aciers au manganèse, X. Jingpey et al [67] ont étudié les mécanismes d'écrouissage sous faibles chocs de ces derniers en variant les teneurs en carbone et en manganèse de 0.7 à 1.3% et de 6.5 à 13% respectivement. A travers cette étude, les auteurs ont démontré que la capacité à l'écrouissage sous faibles chocs des aciers au manganèse s'améliore avec l'augmentation de la teneur en carbone, par contre elle diminue avec l'augmentation du pourcentage de manganèse.

P.C. Machado et al [68] ont prélevé des échantillons de la surface d'un mâchoire usagé (surface déformée) et de la partie non déformée de la même plaque d'un broyeur dans le but d'étudier l'influence du durcissement sur la microdureté d'un acier à 12.4%Mn-1.2%C-1.5%Cr. La partie non déformée a présenté une structure austénitique, par contre des macles ont été observées à l'intérieur des grains austénitiques après la déformation (figure I.10).

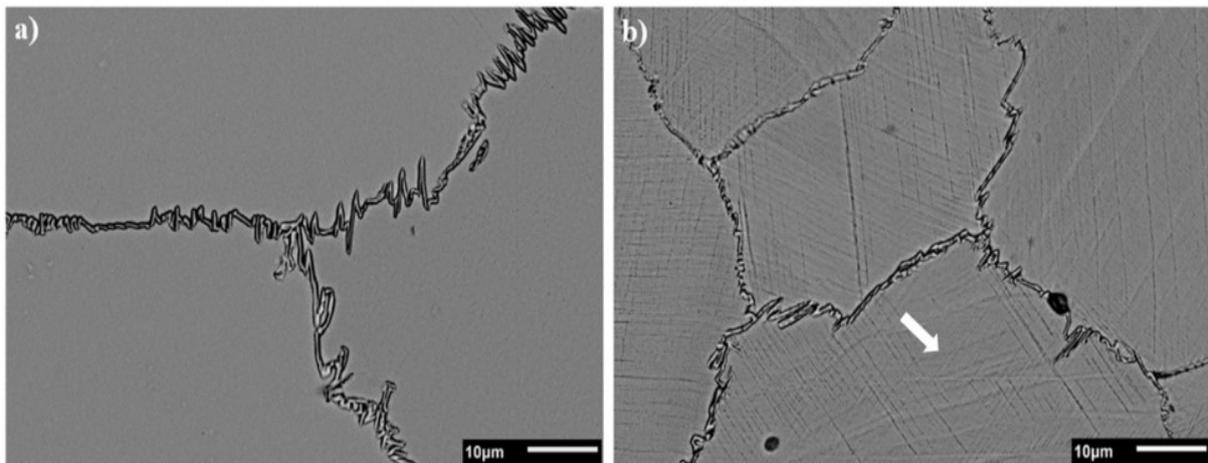


Figure I.10. Microstructures de l'acier considéré. a : avant la déformation, b : après la déformation [68]

Ces auteurs [68] ont observé une forte diminution de la dureté (de l'ordre de 250 HV_{0.3}) sur une profondeur de 1600 µm sur la zone déformée. L'interaction des particules avec la surface de la mâchoire lors des processus de glissement et d'indentation favorise la formation des macles sur la surface de contact. Ceci durcit efficacement la surface de l'acier Hadfield (figure I.11).

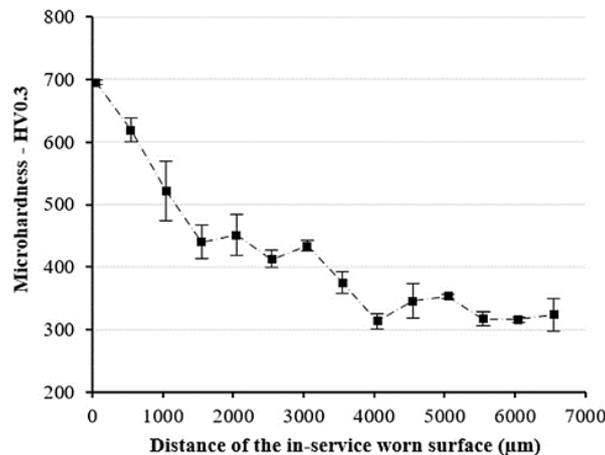


Figure I.11. Microhardness gradient profile of the in-service hardened layer.

Profil de microdureté de l'acier Hadfield déformé [68]

A l'état brut de coulée, les aciers au manganèse présentent une faible résistance à l'usure. La microstructure austénitique des aciers au manganèse, leur confère une sensibilité à l'usure qui limite leur durée de vie et incombe au secteur utilisateur des dépenses supplémentaires. La composition chimique est l'un des facteurs les plus importants qui peuvent agir sur les propriétés de service des pièces moulées en acier au manganèse. Les propriétés de ces aciers ne dépendent pas seulement des teneurs en carbone et en manganèse mais aussi de l'ajout d'autres éléments d'alliage. Ces derniers agissent sur la formation de la microstructure et par conséquent sur leurs propriétés d'exploitation.

I.3. Effet des éléments d'addition sur la microstructure et les propriétés de service des aciers au manganèse

L'étude des effets des éléments d'addition sur les changements microstructuraux et les propriétés de service des aciers au manganèse fait l'objet de très nombreuses recherches [69,

76]. Dans cette partie, nous nous limiterons à la présentation de l'influence des éléments d'addition considérés pour notre étude : chrome, molybdène, nickel, niobium et vanadium.

I.3.1. Effet du chrome

Le chrome est caractérisé par un point de fusion de 1920°C et un des éléments du VI^{ème} groupe de classification périodique. Il fait partie de la gamme des éléments alphas et carburigènes. Grâce à des conditions d'isomorphisme, cet élément forme une solution solide de substitution avec le fer alpha. C'est un élément plus carburigène que le fer. La nature des carbures formés par cet élément dépend de sa teneur dans l'acier. A faibles teneurs en chrome (moins de 3%), ce dernier rentre en substitution avec le fer pour former une cémentite alliée au chrome $(Fe,Cr)_3C$ [2]. Au-delà de cette teneur, d'autres types de carbures alliés $((Cr,Fe)_7C_3$ et/ou $(Cr,Fe)_{23}C_6$) peuvent être formés. C'est aussi un élément durcissant. Son addition améliore ainsi la dureté et la résistance à l'usure. Dans les aciers inoxydables, sa présence en grande quantité (plus de 13 %) augmente résistance à la corrosion et à l'oxydation.

L'effet du chrome sur le changement microstructural de l'acier au manganèse fait l'objet de plusieurs études [77]. Parmi ces études, celle de G. Tęcza et al [33] qui ont montré que la microstructure (figure I.12) d'un acier 16%Mn-1.7%C-1.4%Cr est composée d'une matrice austénitique et de cémentite alliée $(Fe,Mn,Cr)_3C$ sous une forme aciculaire de microduretés de 390 μHV_{20} et de 1600 μHV_{20} respectivement.

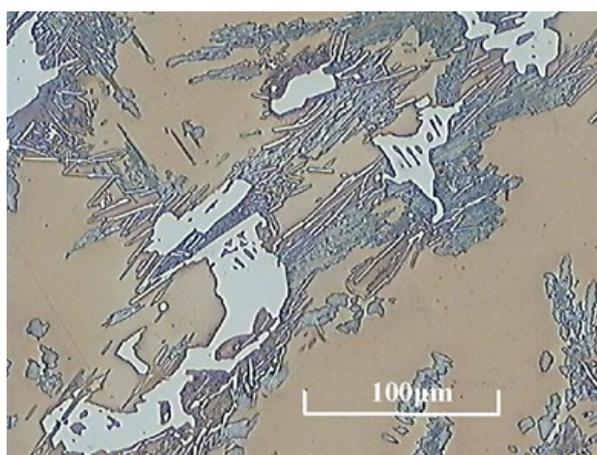


Figure I.12. Microstructure de l'acier au manganèse à 1.4% Cr [33]

Recherche bibliographique

Les carbures formés bloquent le grossissement du grain austénitique et affinent la structure de l'acier. Ces constatations ont été confirmées par les travaux de P. M. Khanh et al [78]. Ces derniers ont étudié l'influence de différentes teneurs en chrome (0.03, 1.91 et 2.53% Cr) sur la taille des grains austénitiques d'un acier à 1%C-12%Mn. Cette recherche a montré que la taille du grain austénitique diminue avec l'augmentation du pourcentage de chrome ajouté (figure I.13). Cet affinement du grain est dû à la formation de la cémentite alliée au Mn et Cr aux joints des grains.

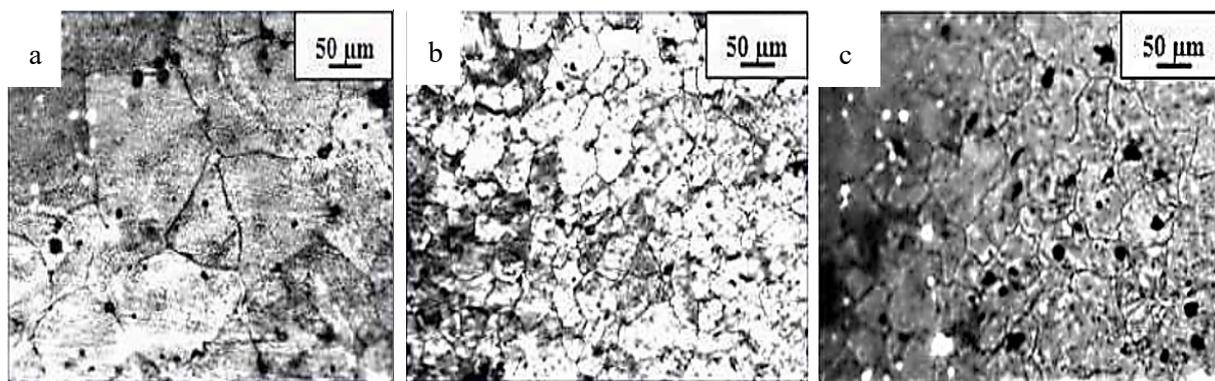


Figure I.13. Effet du chrome sur la taille des grains d'un acier au manganèse. a : à 0.03%Cr, b : à 1.91%Cr et c : 2.53%Cr [78]

L'objectif principal de l'addition du chrome aux aciers austénitiques au manganèse n'est pas la formation des carbures mais plutôt la dissolution de ces derniers dans la matrice après traitement thermique. Cette dissolution des carbures durcit l'acier et améliore son comportement à l'usure. Une étude dans ce même contexte a été réalisée par B. Kalandyk et al [79] sur un acier GX120MnCr18-2 et comparé à un acier GX120Mn13. Il ressort de cette recherche que la microstructure de l'acier GX120MnCr18-2 après un traitement thermique de trempe à partir de 1080°C est composée d'une matrice austénitique avec deux morphologies de cémentite enrichie en chrome l'une aciculaire et l'autre lamellaire (figure I.14). Cette microstructure a permis une élévation de la dureté de 205 HB à 270 HB respectivement pour les aciers GX120Mn13 et GX120MnCr18-2. Les essais d'usure ont montré que la résistance à l'usure de l'alliage GX120MnCr18-2 est 20% plus grande que celle de l'alliage GX120Mn13.