

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE LA TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : FABRICATION MÉCANIQUE ET PRODUCTIQUE

PAR :

ZIOUAL SARA

Thème

**Influence des traitements thermiques sur les propriétés
mécaniques d'un acier au manganèse**

Soutenu le 03 Juillet 2019 devant le jury composé de:

Mr. M.BRADAI	Professeur	Président
Mr. R.YOUNES	M.C.B	Examineur
Mr. A. SAD-EDDINE	M.C.A	Rapporteur
Mr. Dj. AMARI	M.A.A	Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2018-2019

Dédicaces

Dédicaces

Je dédie ce travail d'abord, à la mémoire de mon frère.

*A mes très chers parents qui m'ont toujours conseillé,
encouragé et aimé.*

*A mes sœurs Nadia et Lyna de m'avoir sans cesse soutenues
et encouragées.*

*A mes très chères amies : Dalia, Nihel, Hanane, Ouïssem,
Kenza et toutes les autres pour leurs encouragements et
leurs aides.*

*A tout mes amis : Bihman, Youba, Sofiane, Omar sans
oublier tous les amis de la promo fabrication mécanique
pour leurs aides et encouragements.*

Remerciements

Remerciements

JE tiens tout d'abord à remercier Dieu qui m'a donné la santé, la volonté et le courage d'accomplir ce travail.

Mes vifs remerciements vont à Mr H.SADEDINE, mon promoteur pour son aide, ses critiques constructives, ses explications et suggestions pertinentes et pour la qualité de ses orientations tout au long de ce travail et pour avoir apporté tant de soins à la réalisation de ce mémoire.

Je remercie également les membres de jury qui me font honneur en acceptant d'examiner et de juger mon travail. Mr BRADAI en tant que Président de jury et Mr YOUNES et AMARI en tant qu'examineurs.

Je tiens aussi à remercier Mr OUHNIA, Mr BELAMRI, Mr SAHALI, Mr TAOUINI et Mme Ikheloufi pour leurs aides et leurs collaborations au niveau de l'université et l'ENMTP.

Sans oublier la fonderie de Tiaret, l'équipe du hall de technologie de L'université de Bejaia et l'équipe d'ENMTP.

Que tous ceux qui ont contribué à ma formation qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude.

Enfin, un merci tout particulier à tous ceux qui m'ont apporté leurs soutiens.

Table des matières

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre 1. Revue bibliographique	
Introduction	3
1.1. Généralité sur les aciers	3
1.1.1. Définition de l'acier	3
1.1.1.1. Classification des aciers	3
1.1.1.1.1. Aciers alliés	3
1.1.1.1.2. Les aciers fortement alliés	3
1.1.1.1.3. Les aciers faiblement alliés	4
1.1.1.1.4. Aciers non alliés.....	4
1.1.1.2. Influence des éléments d'aditions sur les propriétés mécaniques des aciers	4
1.1.1.2.1. Les éléments alphagènes	5
1.1.1.2.2. Les éléments gamagènes	6
1.1.2. Diagrammes de phase fer-carbone	7
1.1.3. Diagramme Fe-Mn	9
1.1.4. Traitements thermiques des aciers	10
1.1.4.1. Définitions et procédés des traitements thermiques.....	11
1.1.4.2. Traitements thermiques dans la masse	12
1.1.4.3. Durée de maintien.....	12
1.1.4.4. Trempe	12
1.1.4.5. Incidents des traitements thermiques.....	13
1.1.5. Transformation de phase	14
1.1.5.1. Transformation austénitique.....	14
1.1.5.1.1. Croissance du grain d'austénite au chauffage	15
1.1.5.1.2. Influence de la grosseur du grain sur les propriétés de l'acier	16
1.1.5.2. Transformation avec diffusion	16
1.1.5.3. Transformation sans diffusion ou martensitique	16
1.1.5.4. Conséquences mécaniques des transformations de phases.....	16
1.1.6. Acier au Manganèse (Hadfield)	17
1.1.6.1. Domaine d'utilisation des aciers au manganèse	17

1.2. Généralité sur les concasseurs.....	19
1.2.1. Définition.....	19
1.2.2. Usage industriel	19
1.2.3. Type de concasseurs	19
1.2.3.1. Le concasseur à mâchoires	20
Chapitre 2. Matériaux et techniques expérimentales	

Introduction	21
2.1. Matériaux utilisés	21
2.1.1. Présentation du matériau	21
2.1.2. Elaboration des échantillons	21
2.2. Traitements thermiques.....	22
2.3. Le polissage	23
2.4. Attaque chimique	24
2.5. Méthodes de caractérisation.....	24
2.5.1. Microscope optique	24
2.5.2. Analyse par diffraction des rayons X	24
2.6. Essais mécaniques utilisés dans notre étude	26
2.6.1. La machine d'essai	26
2.6.1.1. Essai de dureté Rockwell	27
2.6.2. Essai de résilience	28

Chapitre 3. Résultats et discussions

Introduction	31
3.1. Analyses microstructurales au microscope optique (MO)	31
3.2. Analyses structurales par la diffraction X	33
3.3. Discussion des résultats des essais mécaniques.....	35
3.3.1. Essai de dureté Rockwell	35
3.3.2. Essai de résilience	38
Conclusion.....	39

Conclusions et perspectives	40
--	-----------

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1.1 : Diagramme Fer-Carbone- Influence de l'addition d'éléments gamagènes	5
Figure 1.2 : Diagramme d'équilibre.....	9
Figure 1.3 : Composé défini Fe_3C (Cémentite).....	9
Figure 1.4 : Le diagramme de phase Fe-Mn montre les phases à prévoir à l'équilibre pour différentes combinaisons de teneur en manganèse et de température.....	10
Figure 1.5 : Cycle d'un traitement thermique.	12
Figure 1.6 : Cycle thermique de trempe.....	13
Figure 1.7 : Domaine de températures d'austénitisation et d'autres traitements thermiques des aciers au carbone.	15
Figure 1.8 : Concasseur à mâchoire.	20
Figure 2.1 : Illustration de la gamme des ébauche d'élaboration de plaque parallélépipédique $230 \times 120 \times 14 \text{ mm}^3$, (a) Dessin des formes de la matière première puis de la plaque obtenue(b) Prise de photo de la pièce brute (b-1), en phase de fraisage (b-2), pièce finie (b-3).....	22
Figure 2.2 : Four électrique disponible au laboratoire Fonderie du département génie mécanique au niveau du hall de technologie.....	23
Figure 2.3: La polisseuse utilisée.	24
Figure 2.4 : Principe d'une diffraction des RX	25
Figure 2.5 : Diffractomètre de type Rigaku, disponible au niveau de laboratoire environnement du département science exacte de l'université de Bejaia.	26
Figure 2.6 : Machine de dureté universelle Brinell, Vickers et Rockwell de l'ENMTP	27
Figure 2.7 : Principe de l'essai de dureté Rockwell.....	27
Figure 2.8 : Schéma de principe de l'essai de résilience.	28
Figure 2.9 : Mouton pendule Charpy de capacité 300J.....	29
Figure 3.1 : a. Microstructure de la pièce brute de livraison dite "témoin", b. spectre de diffraction X de cet échantillon.....	31
Figure 3.2 : Microstructures des différents échantillons traités. a) refroidis à l'eau et b) refroidis à l'eau glacée.	33

Figure 3.3: Spectres de diffraction X des différents échantillons. a) trempés à l'eau b) trempés à l'eau glacée.	34
Figure 3.4 : Dureté Rockwell des différents échantillons. a) trempés à l'eau glacée, b) trempés à l'eau.....	36
Figure 3.5 : Histogramme comparatif des valeurs de dureté (Rockwell).....	37
Figure 3.6 : La résilience des différents échantillons. a) trempés à l'eau glacée, b) trempés à l'eau.....	38
Figure 3.7 : Histogramme comparatif des valeurs de résilience.	39

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Domaine d'utilisation des aciers au manganèse	17
Tableau 2.1 : Composition chimique de l'acier	21

Introduction Générale

Introduction générale

Par définition, une pièce mécanique est un objet qui a plusieurs caractéristiques dimensionnelles et fonctionnelles et une forme bien définie selon le rôle qu'elle doit jouer. Dans ces conditions, elle est impérativement soumise à des contraintes mécaniques : exemple traction, compression, torsion, choc...etc, et chimique : pression et température...etc.

Le choix d'un matériau pour une application donnée nécessite de s'assurer de la durabilité dans ses conditions d'emploi. Dans ce travail, on a fait une étude sur un acier au manganèse qui est soumis à des sollicitations continues d'usure et de chocs. Cet acier est recommandé pour les industries lourdes tels que : les mâchoires des concasseurs, les marteaux d'impact, les aiguilles de chemins de fer et les bandes de roulements de chenilles.

Cet acier contient entre 12 et 18% de manganèse. La présence de cet élément lui confère une microstructure austénitique à l'état brute d'élaboration. Les propriétés finales du produit doivent être prises en considération en particulier au cours du processus de fabrication, la composition chimique de l'acier fondu, suivi par un traitement thermique afin de produire une microstructure appropriée et d'éviter des défauts structuraux (vides, fissures, inclusions) et phases fragiles (carbures). Par conséquent, les divers paramètres tels que les éléments d'alliage, les conditions de coulée, la vitesse de solidification de l'alliage et cycles de traitement thermique peuvent déterminer la microstructure optimale. et donc, l'optimisation de ces paramètres est essentielle pour la production des pièces aptes à résister aux chocs et prolonger leurs durée de vie (problème des mâchoires des concasseurs).

Ainsi ce mémoire de fin d'études est une contribution à l'étude de l'influence des traitements thermiques sur les propriétés mécaniques de l'acier Hadfield, et l'étude de l'état microstructural et structural basé sur le rendement et la durée de vie des pièces fabriquées en acier au manganèse, destinées à travailler dans un environnement agressif de chocs. La proposition d'une gamme de traitement thermique est primordiale afin de répondre aux exigences des conditions de travail des concasseurs à mâchoires.

Ce mémoire est donc structuré comme suit :

- Le premier chapitre décrit les généralités sur les concasseurs, un rappel théorique sur les aciers en général, diagramme fer-carbone et les différents traitements thermiques.
- Le deuxième chapitre est consacré principalement à la description de l'acier étudié, les essais et les tests effectués.

- Le troisième chapitre nous exposerons les résultats obtenus et leurs discussions. Et nous terminerons par une conclusion générale et quelques perspectives pour enrichir notre étude.

Chapitre 1

Revue bibliographique

Introduction

L'acier est un alliage très utilisé dans presque tous les secteurs de l'industrie. Il est composé de fer-carbone dont des proportions comprises entre 0,02 % et 2 % en masse pour le carbone. Ce dernier paramètre est pris en compte pour déterminer l'acier adéquat pour la fonction que doit remplir (force, température, milieux extérieurs...)

Dans ce chapitre, nous allons donner quelques définitions sur les aciers au manganèse, ses caractéristiques mécaniques et ses différents domaines d'utilisation. Notons que ces derniers sont utilisés dans plusieurs secteurs industriels tels que la fabrication des concasseurs.

1.1. Généralité sur les aciers

1.1.1. Définition de l'acier

L'acier est un alliage de fer contenant moins de 2 % de carbone. Il peut être répertorié selon cette teneur en carbone qui fixe son niveau de dureté maximale à l'état trempé. Un acier de haute teneur en carbone sera employé pour sa grande dureté alors qu'un acier de teneur plus faible est moins dur et plus malléable. Il contient généralement de petites quantités d'autres éléments que le fer et le carbone, incorporés, volontairement ou non, au cours de son élaboration. On peut également y ajouter des quantités plus importantes d'éléments d'alliage ; il est considéré alors comme un acier allié [1].

1.1.1.1. Classification des aciers

1.1.1.1.1. Aciers alliés

Ce sont des ferro-alliages, c'est à dire des alliages fer-carbone contenant au moins un troisième élément d'alliage en quantité suffisante pour avoir une modification sensible d'une ou de plusieurs propriétés de l'acier.

1.1.1.1.2. Les aciers fortement alliés

Ce sont des aciers dont lesquels un au moins des éléments d'alliage renferme une teneur supérieure à 5%. Ils sont désignés par :

- La lettre X (Z pour l'ancienne norme).
- La teneur moyenne en C exprimés en centièmes pourcent
- La série des symboles normalisés des éléments alliés rangés par teneurs décroissantes
- Les teneurs pour cent d'une partie des éléments rangées dans le même ordre et sans coefficient multiplicateur [2].

1.1.1.1.3. Les aciers faiblement alliés

Ce sont des aciers dont lesquels aucun élément d'addition n'atteint 5% en masse ces aciers sont désignés par :

- Les nombres égaux aux teneurs moyens en carbone en centièmes pour cent (100 fois la teneur en %)
- Une série de symboles normalisés correspondant aux éléments alliés rangés par teneurs décroissantes, ne sont énumérés que les éléments nécessaires pour éviter toute ambiguïté.
- Un(ou deux) nombres indiquant la teneur des éléments principaux est obtenus en multipliant la teneur en % :
 - Par 4 pour Cr, Co, Mn, Ni et Si.
 - Par 10 pour tous les autres (à l'exception de B et N _a multiplier par 1000 et 100)
- Exemple :

35CD4 : acier faiblement allié au chrome-molybdène de teneurs moyennes 0,35% en C et 1% en Cr. (NF A 35-551).

1.1.1.1.4. Aciers non alliés

La désignation des aciers non alliés spéciaux pour traitement thermique est fondée sur leur teneur en carbone. Deux séries peuvent être distinguées :

- La série CC : Dont laquelle le symbole CC est suivi d'un nombre de 2 ou 3 chiffres égal à 100 fois la teneur moyenne centésimale en carbone.
 - Exemple :
- La série C : Réservee aux aciers dont la teneur en carbone est plus étroite. Le symbole C est suivi d'un nombre égal à 100 fois la teneur moyenne en carbone.
 - Exemple :

C 45 (XC48 dans l'ancienne norme) : Acier non allié pour traitement thermique contenant 0,45% en masse de carbone [3].

1.1.1.2. Influence des éléments d'additions sur les propriétés mécaniques des aciers

Les éléments additionnels sont divisés en deux familles : les éléments alphas (Silicium, aluminium, chrome, molybdène, tungstène, titane, niobium) et les éléments gamma (Nickel, manganèse, azote, carbone, cuivre, cobalt). Certains éléments ont des effets plus importants que d'autres notamment l'azote et le carbone dont l'effet gamma et environ trente fois plus puissant que celui du nickel.

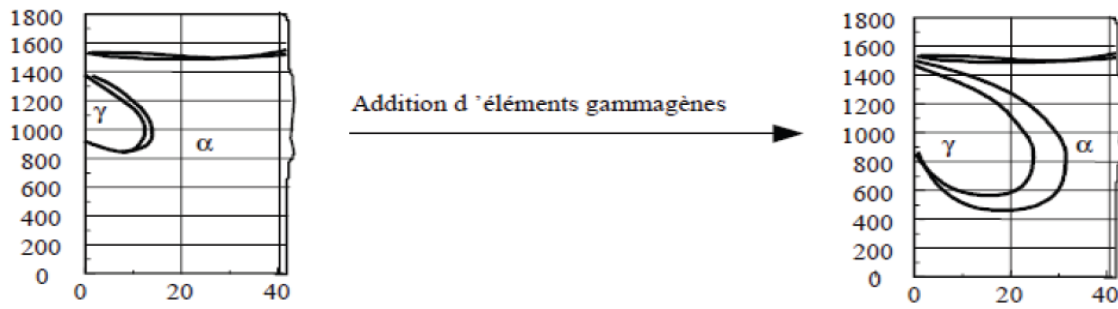


Figure 1.1 : Diagramme Fer-Carbone- Influence de l'addition d'éléments gammagènes.

1.1.1.2.1. Les éléments alphagènes

❖ Le chrome (Cr)

Elément de base de tous les aciers inoxydables qui offre la résistance à la corrosion par la formation d'un film passif en combinant avec l'oxygène et augmente la résistance à la corrosion (sauf en milieu sulfurique) et la résistance à l'oxydation à chaud.

Lorsqu'il est associé avec le molybdène et le nickel, il confère de bonnes propriétés mécaniques à des températures allant jusqu'à 500°C.

❖ Le molybdène (Mo)

C'est un élément alphagènes qui est ajouté à raison de quelques pourcents, améliore la qualité du film passif, en particulier en milieux chlorurés et acides, à l'exception des solutions nitriques bouillantes.

Le molybdène augmente la résistance au fluage des aciers au chrome. Il diminue la fragilité au revenu. Il améliore sensiblement la résistance à la corrosion intercristalline et par piqure. Il confère une plus grande sensibilité à la décarburation et au phénomène d'oxydation pour des maintiens entre 1000°C à 1100°C. De plus, il augmente la résistance mécanique à chaud, l'effet du Mo sur l'acier inoxydable ferritique, la présence du Mo augmente la résistance à la corrosion par piqure et la résistance à la corrosion sous contrainte.

❖ Le silicium (Si)

C'est un élément également alphagènes, il augmente la résistance à la corrosion et améliore les propriétés d'emploi à haute température ce qui lui confère une bonne résistance à l'oxydation à chaud dans le cas de l'acide nitrique mais diminue la résistance à la fissuration lors du soudage.

❖ **Le vanadium (Va)**

Il est un fort stabilisateur en ferrite. Avec la présence du nickel, il augmente la résistance mécanique.

❖ **Le titane (Ti)**

Doit être utilisé à une teneur qui dépasse le quadruple de la teneur en carbone. Il évite l'altération des structures métallurgiques lors du travail, en particulier lors des travaux de soudure.

❖ **Le niobium (Nb)**

C'est un élément alphasé, il se combine avec le carbone dans les aciers inoxydables et forme les carbures pour s'opposer à la corrosion.

1.1.1.2.2. Les éléments gamagènes

❖ **Le nickel (Ni)**

Au delà de 6% à 8%, sa présence se traduit par un effet gamagène et l'acier devient austénitique à toutes températures. Il élargit ainsi le domaine d'existence de l'austénite. Il favorise la mise en œuvre par déformation plastique, améliore la résistance à la corrosion, en particulier la résistance à la corrosion sous tension, il affine le grain et améliore la ductilité. Le nickel a une influence favorable sur la trempabilité, la résistance au choc et la ténacité des calamines.

❖ **Le manganèse (Mn)**

Bien que classé comme élément gamagène, a un rôle alphasé pour des teneurs supérieures à 7%, rend ainsi difficile la transformation de l'austénite en martensite dans les aciers Cr-Ni lors des sollicitations mécaniques aux basses températures.

❖ **Le carbone (C)**

Il stabilise la structure austénitique introduit pour accroître les propriétés mécaniques de l'acier (dureté, charge à la rupture, fluage...), particulièrement sous l'effet des traitements thermiques, le carbone joue un rôle néfaste vis-à-vis de la résistance à la corrosion (précipitation de carbone dépasse 0,03% conduisant à la corrosion intergranulaire). Ceci a encouragé le développement de nuances d'aciers inoxydables à très faibles teneurs en carbone (inférieur à 0,03%).

❖ **L'azote (N)**

Stabilisateur d'austénite à une basse teneur de carbone, l'azote permet d'atteindre des limites d'élasticité élevées sans diminuer la résistance à la corrosion intergranulaire. Il a une influence bénéfique sur la résistance à la corrosion par piqûres et la résistance et la résistance à la

corrosion par crevasse par précipitation du nitrure de chrome Cr_2N moins riche en chrome que Cr_{23}C_6 provoquant un moindre appauvrissement en chrome au voisinage des joints de grains. L'azote augmente aussi la résistance à la traction et diminue la ductilité des aciers inoxydables austénitiques.

❖ **Le soufre (S)**

A des teneurs de l'ordre de 0,2% il améliore considérablement l'usinabilité (tournage, fraisage, perçage, etc.) mais cela se fait au détriment de la résistance à la corrosion par piqures.

❖ **Le cuivre (Cu)**

Il additionné aux aciers austénitiques dans des cas particuliers pour améliorer la résistance à la corrosion ou pour accroître l'aptitude à la frappe à froid, le cuivre aide aussi à la lutte contre la corrosion bactérienne. En outre le cuivre améliore l'usinabilité des aciers inoxydable austénitique [4].

1.1.2. Diagrammes de phase fer-carbone

Le diagramme d'équilibre fer-carbone définit les différents états structuraux des aciers aux différentes températures (figure.1.3). Trois catégories d'aciers peuvent être distinguées :

- Aciers hypoeutectoïdes : Ce sont des aciers dont la teneur en carbone est inférieure à 0,8% en masse.
- Aciers eutectoïde : Ce sont des aciers dont la teneur en carbone est égale à 0,8% en masse.
- Aciers hypereutectoïdes : Ce sont des aciers dont la teneur en carbone est comprise entre 0,8% et 2% en masse.

La particularité de ce système est due à deux facteurs différents :

a) Transformations allotropiques :

Au dessous de 910°C , les atomes du fer sont disposés selon un réseau cubique centré (fer α) le paramètre de la maille est $2,9044 \text{ \AA}$ à 910°C . Entre 910°C et 1401°C , le fer cristallise selon une structure cubique à faces centrées (fer γ) dont le paramètre de maille est égal à $3,6467 \text{ \AA}$ à 910°

b) Variation de la solubilité du carbone :

L'austénite peut dissoudre un maximum de 2,1% en carbone à 1145°C alors que la ferrite ne peut en dissoudre que 0,0218% à la température 723°C . En raison de cette faible solubilité du Carbone, il se forme un troisième constituant qui est la cémentite ou bien le carbure de fer (Fe_3C).

➤ **Nature des phases présentes dans le diagramme d'équilibre :**

- **Ferrite :** C'est une solution solide d'insertion du carbone dans le Fer α .
- **Austénite :** C'est une solution solide d'insertion du carbone dans le fer γ .
- **Cémentite ou carbure de fer :** La cémentite est composée de molécules constituées d'atomes de fer et d'atome de carbone. Ce composé intermétallique a une concentration de carbone égale à $12 / 12 + 3 \times 56 = 6,67\%$ en masse.

Il possède la caractéristique d'être très dur et très fragile (figure.1.4).

- **Perlite :** C'est un agrégat de 88% de ferrite et de 12% de cémentite formé lors de la réaction eutectoïde de. Elle peut prendre deux aspects morphologiques :

- **Coalescée ou globulaire :** c'est-à-dire des globules de cémentite dans une matrice de ferrite. Cette morphologie apparaît après un recuit de globalisation.

- **Lamellaire :** Ce sont des lamelles fines de cémentite et larges lamelles de ferrite alternées. Les différents points de transformation dans lesquels se produisent les changements de phases sont les suivants :

➤ **A₁ :** Température d'équilibre qui définit la limite inférieure du domaine d'existence de l'austénite.

➤ **A_{C3} :** Température à laquelle l'austénite commence à se former au cours du chauffage.

➤ **A_{C3} :** Température à laquelle la ferrite achève de se transformer en austénite au cours de chauffage.

➤ **A_{C_{cm}} :** Température à laquelle la cémentite d'un acier hypereutectoïdes achève de se dissoudre au cours du chauffage.

➤ **Ar₁ :** Température à laquelle l'austénite achève de se transformer en ferrite ou en ferrite et cémentite au cours du refroidissement.

➤ **Ar₃ :** Température à laquelle la ferrite commence à se former au cours du refroidissement d'un acier hypereutectoïdes.

➤ **Ar_{cm} :** Température à laquelle la cémentite commence à se former au cours du refroidissement d'un acier hypereutectoïdes [5].

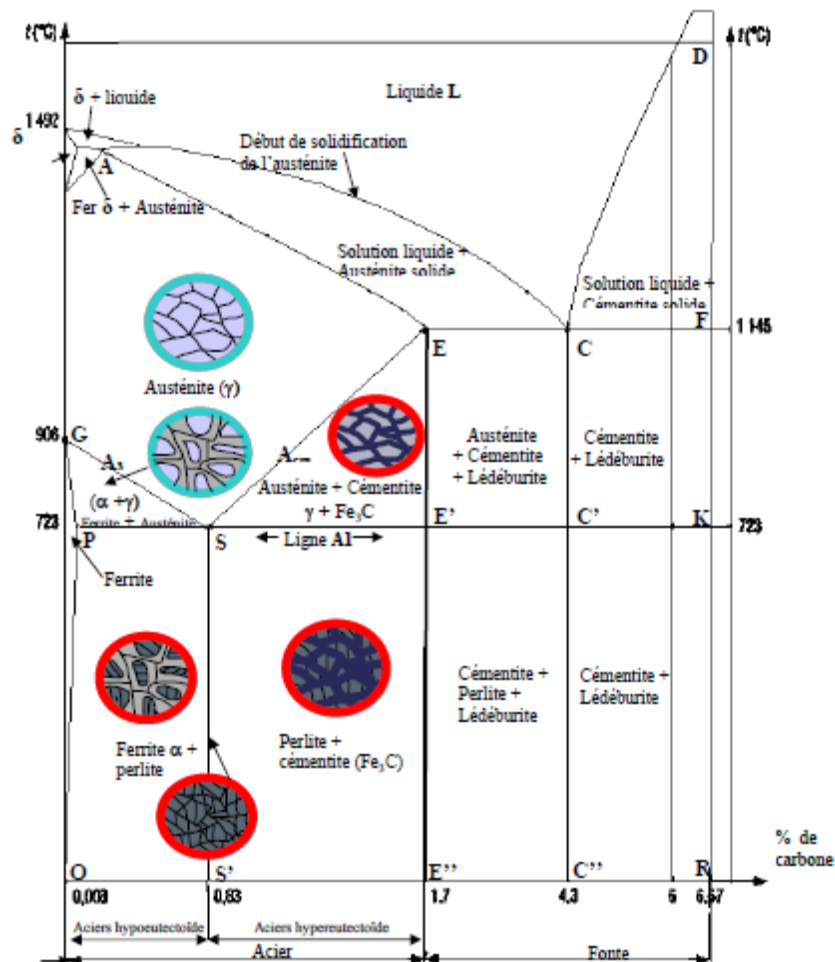
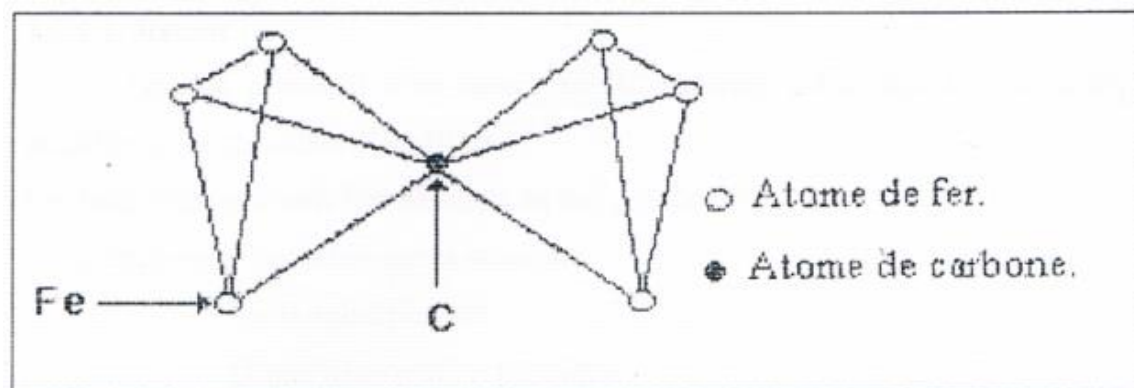


Figure 1.2 : Diagramme d'équilibre

Figure 1.3 : Composé défini Fe₃C (Cémentite).

1.1.3. Diagramme Fe-Mn

La structure à haute température de l'alliage Fe-Mn dépend essentiellement de la proportion relative de manganèse, élément γ -gène qui étend le domaine austénitique γ . Les autres éléments présents dans l'alliage ont un caractère α -gène ou γ -gène. Parmi les éléments γ -gènes, outre le manganèse, on retrouve le nickel, le carbone, le cuivre et l'azote. Parmi les éléments α -gènes,

outre le chrome, on retrouve le silicium et le molybdène ; le niobium, le titane et le tungstène sont des éléments réputés carburigènes.

Ces aciers sont constitués en majeure partie d'austénite métastable. En effet, comme le montre la figure 1.4, on ne peut retrouver à la température ambiante 100% d'austénite qu'après un refroidissement rapide. Dans le cas d'un refroidissement insuffisamment rapide, on voit que la structure sera constituée de cémentite – ferrite – austénite ou cémentite – ferrite suivant la teneur en carbone de l'alliage.

Suivant son degré de stabilité, fixé par sa composition chimique, l'austénite peut se transformer partiellement en martensite α lorsque le matériau est soumis à un écrouissage suffisant ou à un abaissement de la température. La formation de la martensite α (structure cubique centrée) ne se fait pas, en général, directement à partir de l'austénite, mais par l'intermédiaire de la formation préalable de martensite ε à structure hexagonale compacte qui, contrairement à la martensite α , n'est pas ferromagnétique.

Après un traitement thermique d'hypertrempe (TTH), à la température ambiante, les aciers Hadfield présentent une structure austénitique cubique à faces centrées réputée stable vis-à-vis de la transformation martensitique (d'origine thermique ou mécanique), qui permet d'obtenir en service la formation à la surface d'une zone durcie capable de résister aux sollicitations mécaniques [6].

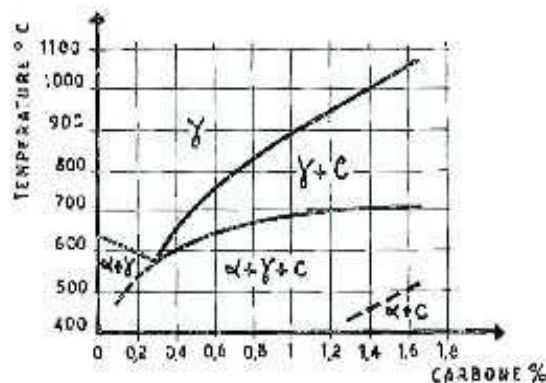


Figure 1.4: Le diagramme de phase Fe-Mn montre les phases à prévoir à l'équilibre pour différentes combinaisons de teneur en manganèse et de température.

1.1.4. Traitements thermiques des aciers

Les traitements thermiques sont constitués par un certain nombre d'opérations combinées de chauffage et de refroidissement ayant pour but :

- D'améliorer les caractéristiques des matériaux et rendre ceux-ci plus favorables à un emploi donné, à partir des médications suivantes :
 - Augmentation de la résistance à la rupture et de la limite élastique R_m , R_e , $A\%$ en donnant une meilleure tenue de l'élément.
 - Augmentation de la dureté, permettant à des pièces de mieux résister à l'usure ou aux chocs.
- De régénérer un métal qui présente un grain grossier (affiner les grains, homogénéiser la structure) cas des matériaux ayant subi le forgeage.
- De supprimer les tensions internes (écrouissage) des matériaux ayant subi une déformation plastique à froid (emboutissage, fluotournage).

En dehors du recuit de recristallisation qui permet de supprimer l'écrouissage, les traitements thermiques ne s'appliquent pas aux métaux purs, mais seulement à quelques alliages pour lesquels on recherche principalement une augmentation de la limite élastique et une diminution de la fragilité.

Les traitements thermiques sont appliqués surtout aux aciers XC et aciers alliés ZR alliages non ferreux. En général les traitements thermiques ne changent pas la composition chimique de l'alliage.

1.1.4.1. Définitions et procédés des traitements thermiques

Effectuer un traitement thermique sur une pièce, c'est faire subir à celle-ci une variation de la température en fonction du temps. Le procédé de traitement thermique se compose de (figure 1.5).

AB : échauffement à des températures supérieures aux températures de transformation (par exemple : AC3).

BC : Maintient à une température définie.

CD : Refroidissement avec une vitesse donnée :

- lente (dans le four, à l'air).
- Assez rapide (dans l'huile).
- Très rapide (dans l'eau).

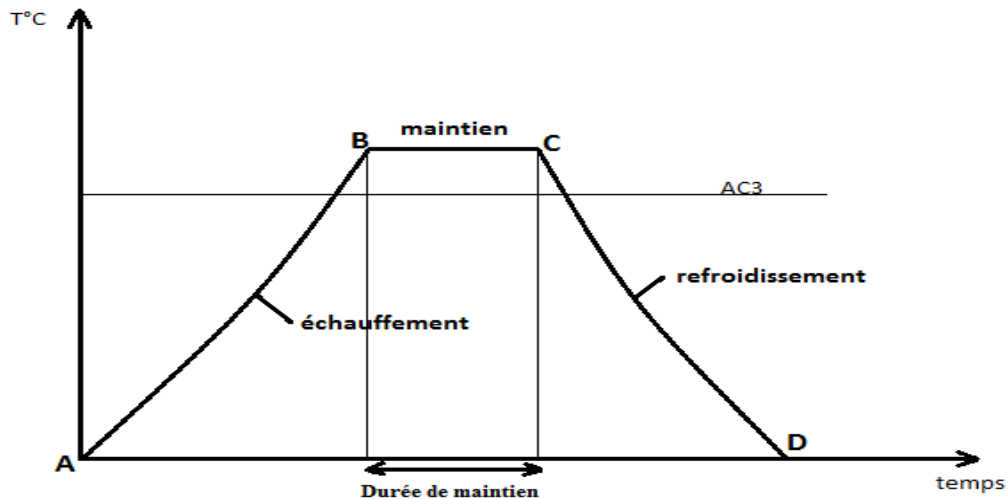


Figure 1.5 : Cycle d'un traitement thermique.

1.1.4.2. Traitements thermiques dans la masse

Dont le but est de conférer les propriétés recherchées dans toute la masse de la pièce les principaux traitements thermiques sont : la trempe, le revenu et le recuit [7].

1.1.4.3. Durée de maintien

C'est le temps nécessaire pour maintenir la pièce à une température, et à partir de la température atteinte dans le cœur.

Les facteurs principaux, qui influent sur le chauffage de la pièce sont le diamètre (épaisseur), conductibilité, température du four, etc. En général le régime de chauffage pour les aciers est déterminé selon le diamètre de la pièce et les caractéristiques qui sont définis par le carbone équivalent.

1.1.4.4. Trempe

La trempe est un traitement thermique qui consiste à :

- Chauffer l'acier à une température d'austénitisation égale à $Ac_3 + 50^\circ C$ pour les aciers hypoeutectoïdes et $Ac_1 + 50^\circ C$ pour les aciers hypereutectoïdes
- Maintenir un certain temps, à cette température afin de permettre aux transformations internes de se produire dans toute la masse.
- Refroidir suffisamment vite par immersion dans un fluide comme l'eau, l'huile et bain de sel ou en utilisant les brouillards qui sont des courants d'air contenant de gouttelettes d'eau en suspension (figure 1.6).

La trempe a pour but de donner à l'acier la plus grande dureté possible par formation de la martensite ou de la perlite fine.

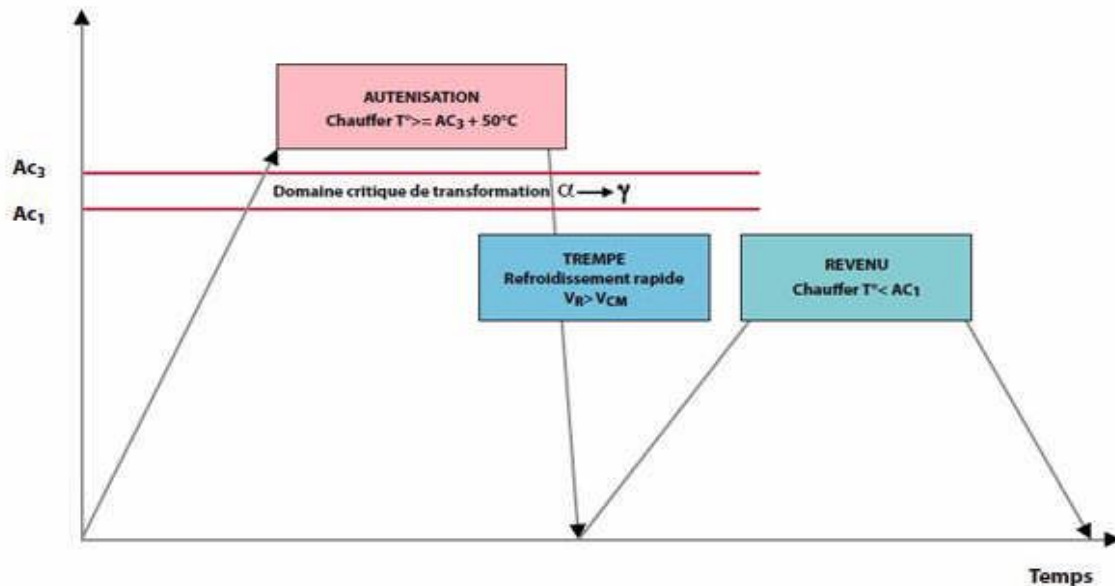


Figure 1.6 : Cycle thermique de trempe.

1.1.4.5. Incidents des traitements thermiques

- **Surchauffe :**

La surchauffe se traduit par un grossissement exagéré des grains d'austénite, engendrant lui-même un gros grain de cassure après durcissement par trempe. Elle peut être la conséquence :

- d'un chauffage à une température trop élevée.
- d'un maintien trop long à la température d'austénitisation.
- d'un maintien trop long à une température trop élevée.

- **Déformations :**

Après traitement thermique, une pièce peut apparaître déformée par rapport à sa géométrie initiale. Les déformations peuvent avoir :

- la relaxation des contraintes résiduelles présentes avant le traitement thermique (un palliatif peut être alors un traitement de relaxation avant l'usinage).
- les transformations réalisées lors des traitements thermiques, ce point a été traité plus avant.
- les irrégularités de chauffage et/ou de refroidissement (le chauffage et le refroidissement doivent être équilibrés par rapport à la géométrie de la pièce).
- le fluage sous l'effet du poids propre de la pièce ou de la charge environnante.

En effet, lors de l'austénitisation, l'acier, à l'état γ peut, suivant la température atteinte, avoir une limite d'élasticité très faible si non nulle et, de ce fait, être susceptible de se déformer sous l'effet des contraintes qu'il subit.

- **Tapures :**

Les tapures (à ne pas confondre avec les criques de rectification dues au choc thermique occasionné par le meulage) sont des fissures provoquées par les contraintes apparaissant lors des traitements thermiques lorsque les déformations engendrées se développent dans le domaine élastique. Leur apparition peut être facilitée par des concentrations de contraintes dues à la géométrie des pièces traitées (changements brutaux de section, raccordements à angles vifs, filetages, trous, etc.) [7].

1.1.5. Transformation de phase

1.1.5.1. Transformation austénitique

L'austénitisation consiste d'abord à chauffer l'acier puis de le maintenir pendant environ 30 minutes dans son domaine austénitique, à au moins quelques degrés (30-50°C) au-dessus de son point de transformation. Durant l'austénitisation, la structure de l'acier s'homogénéise en transformant les éléments microstructuraux ferriques (α , CC) en austénite (γ , CFC) et en dissolvant la cémentite et les carbures dans l'austénite.

La possibilité d'austénitiser un acier est une condition nécessaire pour pouvoir le traiter thermiquement. Les paramètres d'austénitisation sont :

- La température d'austénitisation θ_a . Pour les aciers hypoeutectoïdes, $\theta_a = A_{c3} + 30^\circ\text{C}$ à 50°C .
- La durée d'austénitisation T_a qui est fonction de la massivité de la pièce. L'état austénitisé (à la fin du temps T_a) est caractérisé par :

- La composition chimique moyenne de l'austénite : le temps T_a influe sur l'homogénéité de l'austénite (apparition des ségrégations).
- La grosseur du grain austénitique G_a : la grosseur du grain de l'austénite est déterminée par la température du chauffage, la durée du séjour à cette température et l'aptitude de l'acier à la croissance du grain pendant réchauffement. La grosseur du grain est mesurée par l'indice G défini par la relation $m = 8 \times 2^G$, m désigne le nombre de grains par mm^2 de surface de l'échantillon.

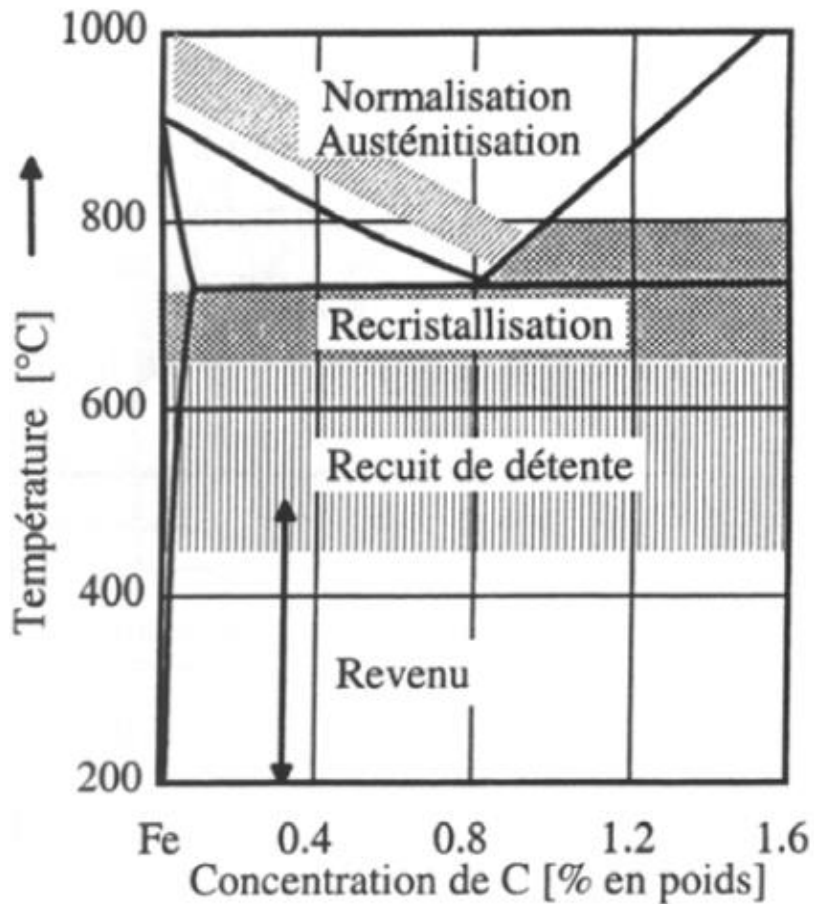


Figure 1.7 : Domaine de températures d'austénitisation et d'autres traitements thermiques des aciers au carbone.

1.1.5.1.1. Croissance du grain d'austénite au chauffage

La croissance du grain austénitique est spontanée elle a à l'origine la tendance du système à diminuer l'énergie libre en réduisant la surface des grains, les grains grossissent en accaparant d'autre grains, plus petits et donc moins stable du point de vue thermodynamique. L'aptitude du grain austénitique à la croissance varie suivant les conditions de fusion même pour les aciers de composition identique.

Il existe deux types d'acier à grains fins et à gros grains par hérédité.

Dans un acier à grains fins par hérédité, même à la température poussée à 1000°C ou 1050°C, la croissance des grains négligeable mais réchauffement est poussé encore plus, il provoque un brusque grossissement des grains.

Dans un acier à gros grains par hérédité c'est l'inverse, un fort développement du grain s'observe même lorsque l'échauffement dépasse A1, d'une valeur négligeable.

1.1.5.1.2. Influence de la grosseur du grain sur les propriétés de l'acier

La croissance du grain diminue brusquement la résilience, sur tout dans le cas d'une dureté élevée (après trempe et revenu à basse température), diminue le travail absorbé par la propagation des fissures et élevé le seuil de fragilité à froid. Plus le grain n'est gros, plus l'aptitude de l'acier aux tapures et aux déformations de trempe est grand.

1.1.5.2. Transformation avec diffusion

Lorsque la température du maintien θ_a est comprise entre celle du point Ac_1 et celle du point Ms . Les transformations isothermes de l'austénite conduisent à la formation d'agrégats ferrite-carbures : $A \rightarrow F + C$ mettant en jeu des phénomènes de diffusion qui régissent la cinétique de ce type de transformation [6].

1.1.5.3. Transformation sans diffusion ou martensitique

La transformation martensitique s'étale dans un large intervalle de température. Pour un acier donné elle débute et s'achève à des températures notées respectivement (Ms) et (Mf). Ces températures ne dépendent que de la composition chimique de l'acier sont d'autant plus basses que les teneurs en carbone et en éléments d'addition sont plus importantes.

Au cours de cette transformation, le carbone n'aura pas le temps de diffuser pour se répartir entre deux phases (ferrite et cémentite) mais il demeure en place lors de la transformation allotropique de l'austénite. La vitesse de la transformation est très rapide (proche de la vitesse du son).

La transformation martensitique se produit lorsque la différence entre les énergies libres des deux structures (austénite et martensite) ; est suffisamment importante pour provoquer la transformation alors que la vitesse de diffusion du carbone est trop faible pour jouer un rôle [6].

1.1.5.4. Conséquences mécaniques des transformations de phases

Les conséquences mécaniques des transformations de phases sont les suivantes :

- L'évolution métallurgique conduit à une déformation de transformation du fait des différences de compacité mises en jeu par les transformations structurales. Cette déformation de transformation est "sphérique" et s'ajoute à la déformation purement thermique.
- En présence de contraintes mêmes inférieures à la limite élastique de la phase la plus molle à la température considérée, il y a plasticité de transformation. Celle-ci conduit à une déformation irréversible. Elle se produit uniquement durant l'avancement de la transformation.
- Les caractéristiques mécaniques différentes suivant la composition métallurgique, en particulier, les caractéristiques plastiques (limite d'élasticité notamment). Le module d'élasticité

et le coefficient de Poisson sont quant à eux, peu influencés par la composition métallurgique. Par ailleurs, la part de l'écrouissage de la phase mère transmise à la nouvelle phase formée au refroidissement est supposée totale ou partielle selon le type de transformation.

- Du fait de la présence de constituants aux caractéristiques thermiques et mécaniques différentes, le calcul thermomécanique doit prendre en compte le comportement multiphasé du matériau à la température considérée. En général, une loi de mélange linéaire est utilisée [8].

1.1.6. Acier au Manganèse (Hadfield)

Est un matériau qui est bien connu pour sa haute dureté en cours de service et son grand taux d'écrouissage. C'est l'un des excellents matériaux résistants à l'usure qui a couramment été employé pendant les cent dernières années. Grace 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 [9].

1.1.6.1. Domaine d'utilisation des aciers au manganèse

Tableau 1.1 : Domaine d'utilisation des aciers au manganèse [10].

NUANCES F.A.R	Caractéristiques technologiques	Dureté	Types de pièces conseillés
		En service HV.	
Mn 12	Acier pour grosses pièces d'épaisseur supérieure à 150 mm. soumises à chocs violents et pour pièces qui exigent une ténacité élevée.	500	Marteaux de broyeurs à ferrailles Grosses mâchoires
Mn Cr 12.2	Acier pour toutes pièces d'emploi normal	600	-Mâchoires -Marteaux -Cônes et Mâchoires pour concasseurs giratoires -Rouleaux -Ecrans de chocs.

MnX50	Acier de nouvelle conception, résultat des laboratoires de recherche, développement et expérimentation FAR. Les meilleures qualités anti usure, écrouissage et résistance aux impacts et/ou déformations des manganèses communs, résumées et optimisées dans un matériel inique et universel avec grande performance dans les plus variées applications.	700	-Marteaux -Plans de chocs -Mâchoires -Cônes giratoires -Manteaux -Ecrans de choc -etc.
Mn Mo 6.1	Acier qui obtient les plus hautes valeurs de dureté superficielle par écrouissage dans les emplois à faible énergie de chocs. Indiqué pour le broyage de matériau friable et de petite taille.	700	Cônes et Mâchoires pour concasseurs giratoires secondaires et tertiaires. Mâchoires et marteaux pour emplois particuliers.
Mn Cr 18.2	Acier qui a de très bonne caractéristique anti usure et de résistance aux déformations	600	-Percuteurs primaires et Secondaires - Mâchoires - Cônes.
Mn Cr 20.3	Acier qui a d'excellentes qualités anti-usure pour emplois spécifiques et une résistance maximale contre l'usure par rayonnage. Il associe des propriétés mécaniques élevées à une durée maximale.	600	Marteaux pour installations de recycling. Cônes et Mâchoires pour concasseurs giratoires. Pièces soumises à usure par abrasion et rayage.
Mn Ni 12.2	Acier austénitique as-cast pour pièces de petite épaisseur et peu soumises à chocs.	600	Plaques de blindage.

1.2. Généralité sur les concasseurs

1.2.1. Définition

Un concasseur est une machine conçue pour réduire les grosses roches en petits pierres, gravier, ou poussière de roche. Les concasseurs peuvent être utilisés pour réduire la taille ou changer la forme des déchets afin qu'ils puissent être plus facilement éliminés ou recyclés. Ils peuvent également réduire la taille d'un mélange solide de matières premières (comme le minerai), de sorte que ses différents composants puissent être séparés. Le concassage est le processus d'application d'une force, amplifiée par avantage mécanique, à l'aide d'un matériau dont les molécules sont liées plus solidement et résistent mieux à la déformation que celles du matériau à concasser. Les appareils de concassage retiennent le matériau entre deux surfaces solides parallèles ou tangentes, et appliquent une force suffisante pour que les molécules se séparent (déformation).

1.2.2. Usage industriel

Dans l'industrie, Les concasseurs utilisent une surface métallique pour briser ou comprimer les matériaux. Les concasseurs qui travaillent dans des opérations minières sont généralement classés suivant la finesse avec laquelle ils fragmentent le matériau de départ : les concasseurs primaires et secondaires traitent les matériaux grossiers, les concasseurs tertiaires et quaternaires réduisant les particules de minerai à des échelles plus fines. Chaque concasseur est conçu pour une taille maximale des matières premières, et livre souvent sa production à un crible qui trie et oriente le produit pour un traitement ultérieur. Généralement, les étapes de concassage sont suivies par les étapes de broyage si les matériaux doivent être encore réduits. Les concasseurs sont utilisés pour réduire suffisamment la taille des particules pour que le matériau puisse être transformé en particules plus fines dans un broyeur. Un circuit typique de mine est constitué d'un concasseur suivi d'un broyeur semi-autogène, suivi par un broyeur à boulets sont considérés comme moulins plutôt que des concasseurs.

1.2.3. Type de concasseurs

Il existe des concasseurs de technologie différente, les plus fréquents étant :

- Le concasseur à mâchoires.
- Le concasseur à cône.
- Le concasseur à percussion.
- Le concasseur giratoire.

1.2.4. Le concasseur à mâchoires

Le concasseur à mâchoire est une machine à broyer des roches (granite, calcaire, etc.) généralement à des fins industrielles, vu que la roche est la matière première par excellence de quasiment toutes les industries (métallurgie minière, etc.) L'appellation à mâchoire est due au dispositif de broyage, qui reprend le principe de base d'une mâchoire, avec une paroi fixe et une autre mobile, la roche étant coincée entre les deux. La partie mobile est entraînée en rotation par une bielle (excentrique) qui assure la rotation de la mâchoire. Le ressort de rappel à sa base permet de ramener la mâchoire afin de laisser passer les matériaux broyés. Ce concasseur associe donc deux mouvements. Un mouvement de compression (de gauche à droite) afin de concasser le granulat et un mouvement de friction (du haut vers le bas) afin de faire descendre les matériaux vers le convoyeur de réception des matériaux broyés. Les débits de telles machines sont conditionnés par leur taille d'ouverture et le réglage côté fermé à la base des mâchoires, là où sortent les matériaux. Les mouvements répétitifs de la partie mobile, entraînés généralement par un moteur et une courroie, brisent la roche en petites pierres, La transformant en un produit fini commercialisable pour la fabrication du béton de construction, voire de route et autres applications [11].

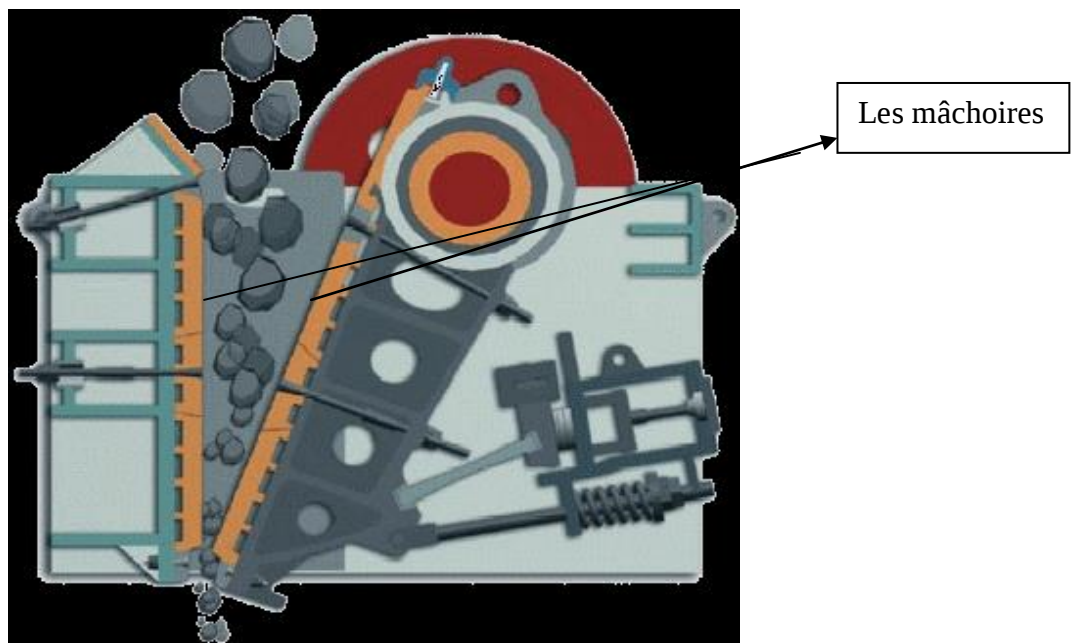


Figure 1.8 : Concasseur à mâchoire.

Chapitre 2

Matériaux et techniques expérimentales

Introduction

Dans ce chapitre, nous décrivons l'acier au manganèse qui nous a été fourni par la fonderie de Tiaret à l'état brut. Ce dernier est destiné à la fabrication des concasseurs. Pour améliorer les propriétés mécaniques de ces concasseurs notamment la résistance à l'usure et la résistance aux chocs, des traitements thermiques sont préconisés.

Dans ce travail, des traitements thermiques d'austénitisation ont été effectués sur nos échantillons de forme parallélépipédique à des températures de 1000, 1025, 1050, 1075 et 1100°C suivis de deux types de refroidissements (eau et eau glacée). Une caractérisation microstructurale et structurale a été réalisée en utilisant le microscope optique (MO) et la diffraction X (DRX). Une caractérisation mécanique basée sur les essais de dureté et les essais de résiliences a été également effectuée. Notons que tous les essais ont été réalisés sur les échantillons à l'état brut et traités à différentes températures.

2.1. Matériaux utilisés

2.1.1. Présentation du matériau

Dans ce mémoire, le matériau utilisé est un acier allié au manganèse de nuance X120Mn12. Sa composition chimique est indiquée dans le tableau 2.1 suivant

Tableau 2.1 : Composition chimique de l'acier [12]

Eléments	C	Si	Mn	Ph	S	Cr	Fe
%Massiques	1,1-1,3	0,3-0,5	12-13	0,1 max	0,4 max	1,5 max	Bal

2.1.2. Elaboration des échantillons

Une plaque à l'état brut de forme parallélépipédique de dimension 230x120x14 mm³ a été fournie par la Fonderie de Tiaret. Nous avons par la suite découpé cette plaque pour élaborer des éprouvettes normalisées de résilience et des échantillons témoins des traitements thermique comme illustrés dans la figure 2.1. Nous décrirons les différentes étapes utilisés pour la réalisation de nos échantillons qui consistent en :

- Une phase de fraisage (surfaçage) effectuée sur la plaque brute en utilisant la fraiseuse universelle FH 1.6 du hall de technologie (l'outil utilisé est une fraise de diamètre 120mm avec 6 dents en carbure, les conditions de coupes utilisées sont : une vitesse de coupe $V_c = 40$ m/min, une vitesse d'avance de 50 mm/min et une profondeur de passe de 0,5 mm.
- Découpage sous forme d'échantillons témoins et éprouvettes de résilience (voir figure 2.1.b).

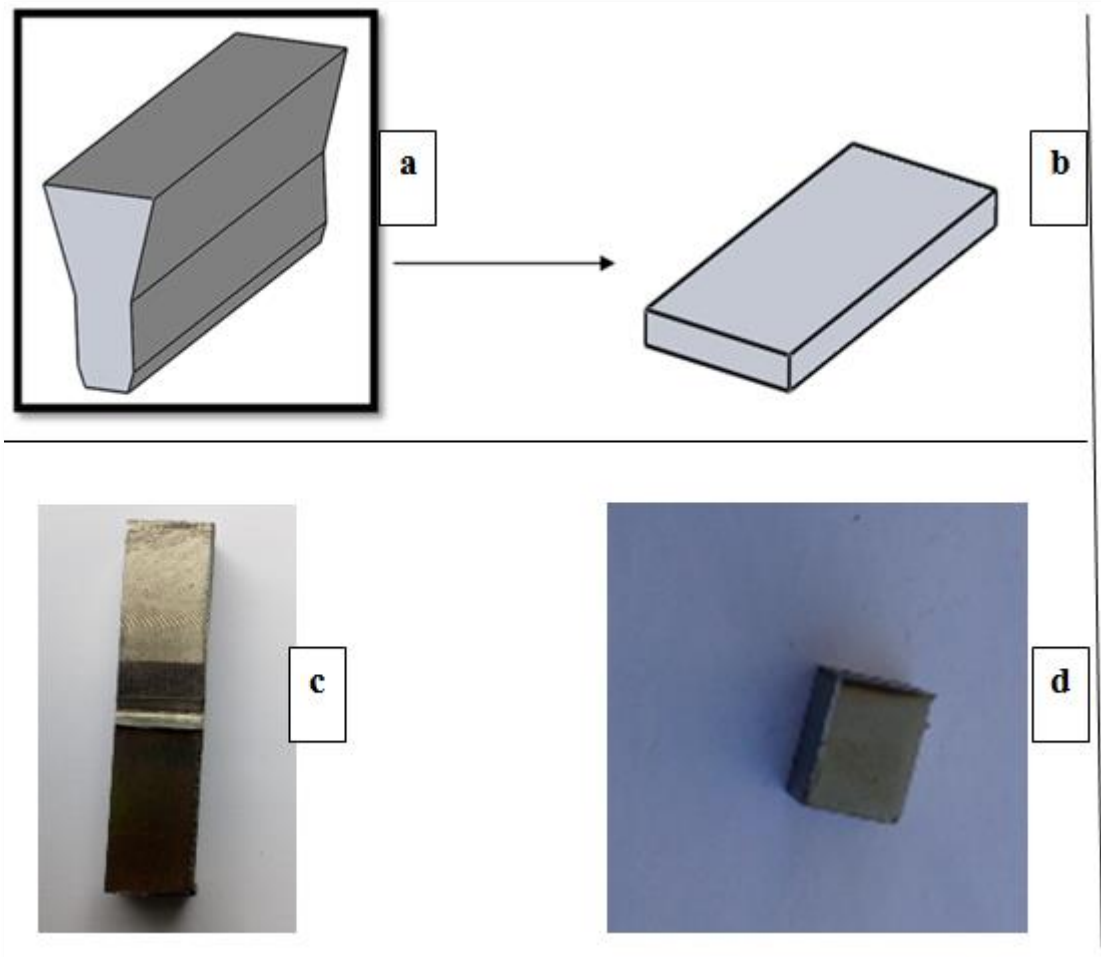


Figure 2.1 : Illustration de la plaque parallélépipédique en acier au manganèse. a) Matière brute b) surfacage de la plaque, c) éprouvette de résilience, d) échantillon pour traitement thermique.

2.2. Traitements thermiques

La structure d'un acier est fonction des conditions de refroidissement. Elles sont en effet à la base de divers traitements thermiques qui permettent d'attribuer à l'acier un large éventail de propriétés.

Les traitements thermiques ont été réalisés au laboratoire du département génie mécanique au moyen d'un four électrique (figure 2.2).

- Un premier échantillon n'ayant pas subi de traitement thermique représente le témoin de référence.
- D'autres échantillons ont subi un traitement thermique à différentes températures d'austénitisation (1000°C, 1025°C, 1050°C, 1075°C, 1100°C) pendant un temps de maintien de

30 minutes pour les échantillons témoins et 1h pour ceux de la résilience suivi de deux types de refroidissement l'un à l'eau et l'autre à l'eau glacée.



Figure 2.2 : Four électrique disponible au laboratoire Fonderie du département génie mécanique au niveau du hall de technologie.

2.3. Le polissage

Après les traitements thermiques, un polissage, avec du papier abrasif de plus en plus faible de 180 jusqu'à 2000, a été effectué sur tous les échantillons étudiés à l'aide d'une polisseuse puis soumis ensuite à une finition avec du papier feutre sous alumine pour avoir une surface réfléchissante adéquate pour les observations métallographiques comme le montre la figure ci-dessous



Figure 2.3: La polisseuse utilisée.

2.4. Attaque chimique

L'observation de la microstructure des phases de l'acier au manganèse nécessite une attaque chimique pour révéler les principales phases séparées par des joints de grains. Le réactif utilisé est le Nital composé de 5% d'acide nitrique HNO_3 et 95 % d'éthanol (alcool éthylique $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). On maintient la surface de l'échantillon en contact avec le réactif jusqu'à l'apparition d'une couleur plus sombre.

2.5. Méthodes de caractérisation

2.5.1. Microscope optique

La microscopie optique permet l'observation micrographique sur les surfaces des échantillons subissant un polissage mécanique classique puis attaquées au réactif de Nital. Le principal intérêt de cette méthode simple et efficace est la mise en évidence de la microstructure du matériau, la forme des grains et les différentes phases en présence.

2.5.2. Analyse par diffraction des rayons X

Afin d'identifier la nature des phases présentes dans les échantillons, une analyse par diffraction des rayons X est effectuée.

Dans notre étude, nous avons utilisé un diffractomètre de type Rigaku, disponible au niveau de laboratoire environnement du département science exacte de l'université de Bejaia. Les spectres de diffraction ont été obtenus dans un intervalle de balayage de 0° à 120° couvrant les pics intenses des composés susceptibles d'être présents dans l'échantillon. Le temps d'exposition est d'une seconde par pas de $0,03$ degré.

• Principe de fonctionnement

Les rayons X sont des ondes électromagnétiques de longueur d'onde comprise entre 0,1Å et 10Å. L'échantillon à analyser est placé dans un porte échantillon qui est fixé par aimantation sur le goniomètre. Il reçoit un faisceau de rayons incidents provenant du tube et qui est renvoyé, après diffraction, sur le détecteur des rayons X tournant autour de cet échantillon. Une rotation de θ de l'échantillon et 2θ du d'détecteur avec une source de RX fixe (figure 2.5) ou bien une rotation de θ du détecteur et de la source de RX avec un échantillon fixe. Le diffractomètre est piloté par ordinateur ou sont injectés les paramètres d'analyse dans le logiciel X pert High Score plus.

Le logiciel JCPDS permet également de déterminer précisément les angles et les intensités de diffraction. Pour que l'intensité du rayonnement X réémis soit observable, il faut que les rayonnements diffusé par les différents atomes du cristal soient en phase et forment ainsi un faisceau diffracté. Cette condition de diffraction est connue sous le nom de loi de Bragg qui s'exprime sous la forme :

$$2d_{hkl} \sin\theta = \lambda$$

Avec :

- d_{hkl} : distance réticulaire entre deux plans de même famille.
- θ : angle des rayons X incidents ou diffractés avec le plan réticulaire.
- λ : longueur d'onde du faisceau incident.

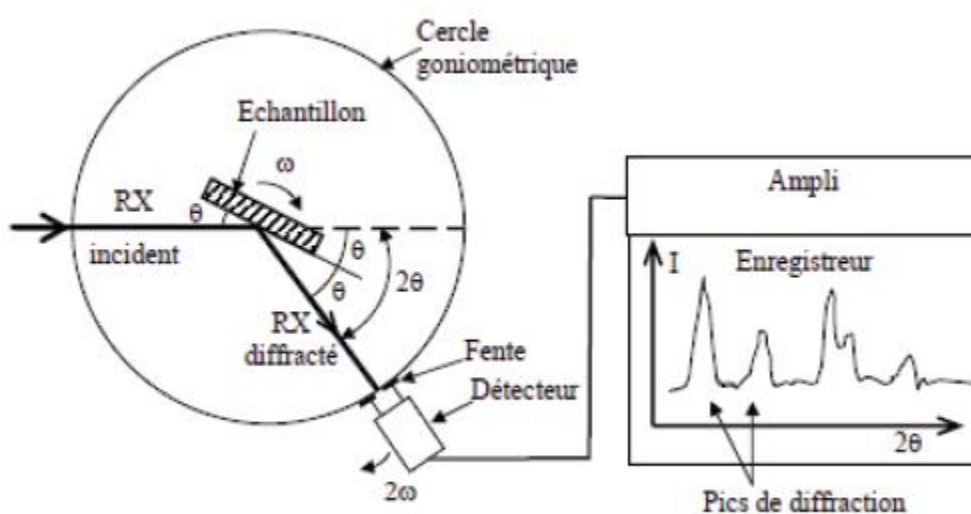


Figure 2.4 : Principe d'une diffraction des RX

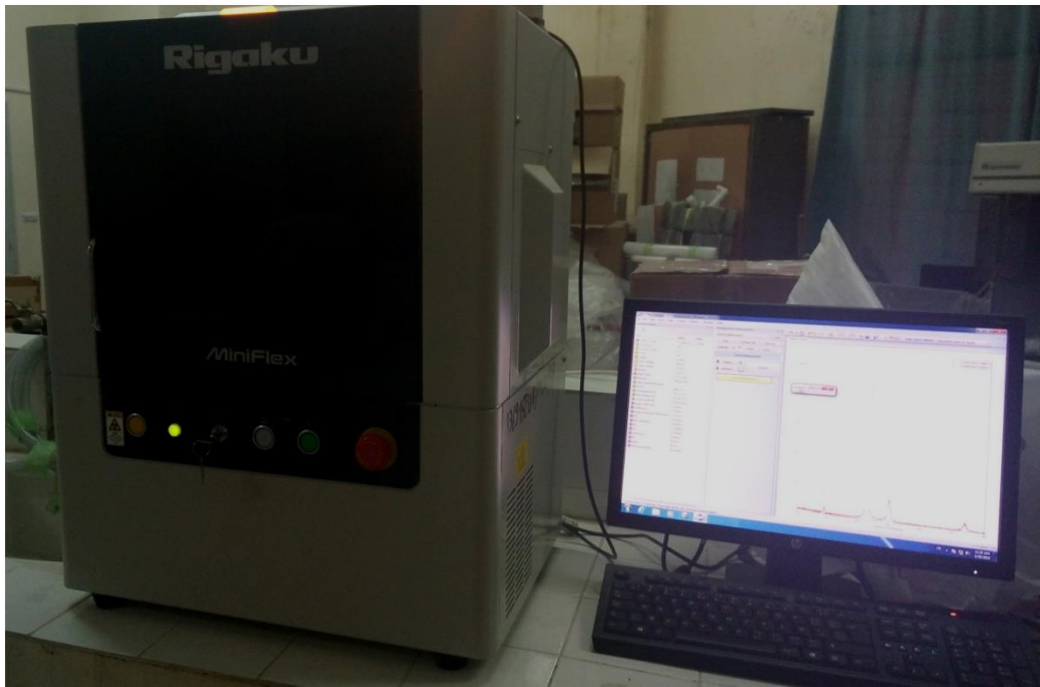


Figure 2.5 : Diffractomètre de type Rigaku, disponible au niveau de laboratoire environnement du département science exacte de l'université de Bejaia.

2.6. Essais mécaniques utilisés dans notre étude

2.6.1. La machine d'essai

Les essais de dureté ont été effectués sur une machine de dureté universelle, au niveau du laboratoire de l'ENMTP. Une charge de 294.1N est sélectionnée pour l'essai de dureté Vickers et de 981N pour l'essai de dureté Rockwell. La pièce étant placée sur le support à vis, et soulevée en tournant l'écrou jusqu'à ce que le ressort comprimé exerce la charge sélectionnée pour entraîner la pénétration servant à la mesure de la dureté.

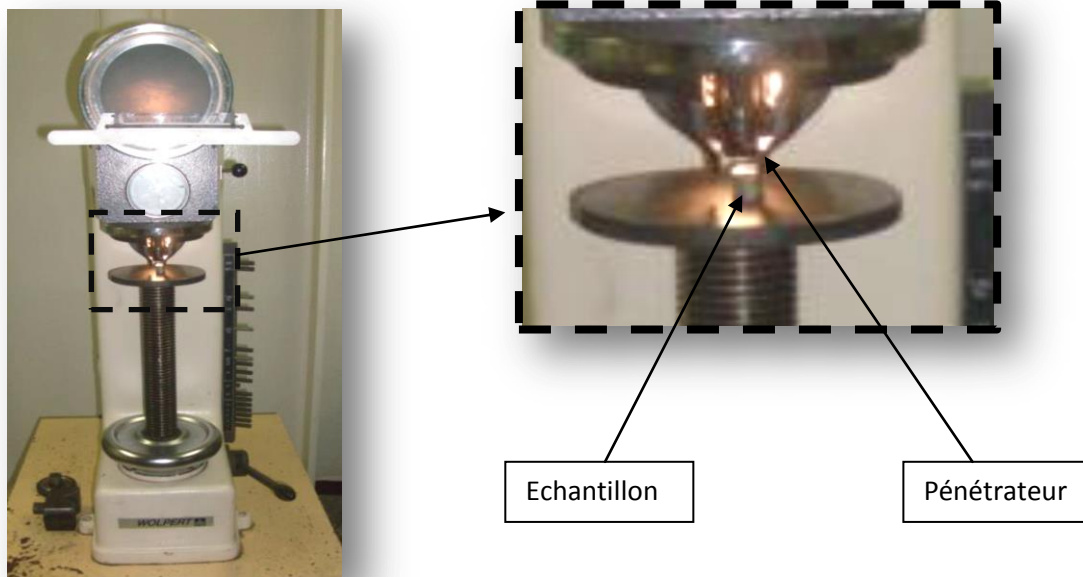


Figure 2.6 : Machine de dureté universelle Brinell, Vickers et Rockwell de l'ENMTP.

2.6.1.1. Essai de dureté Rockwell

L'essai de dureté Rockwell consiste à enfoncer dans la couche superficielle de la pièce à contrôler un pénétrateur de type normalisé, qui peut être un cône ou une bille. La dureté est donnée par la profondeur d de l'empreinte.

- **Rockwell C :** Le pénétrateur est un cône de diamant de 120° et d'extrémité sphérique ($\varnothing 0,2$ mm). La charge F est de 1400 N (150 kgf).

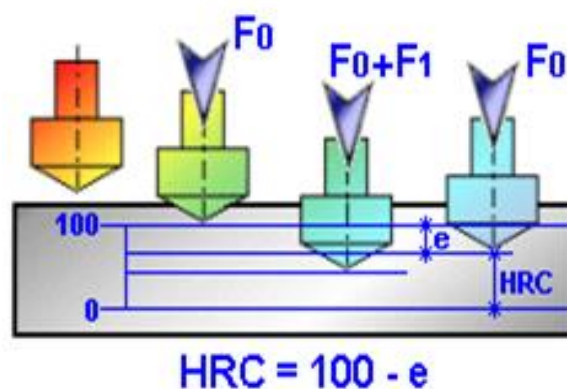


Figure 2.7 : Principe de l'essai de dureté Rockwell.

- **Rockwell B :** Le pénétrateur est une bille d'acier de 1,59 mm de diamètre. La charge F est de 900 N (100 kgf).

2.6.2. Essai de résilience

L'essai de résilience consiste à mesurer le travail nécessaire pour rompre l'éprouvette à l'aide d'un mouton Charpy. Une éprouvette entaillée en son milieu et reposant sur deux appuis.

- **Principe de l'essai :**

- On place l'éprouvette sur deux appuis de telle sorte à ce que le plan d'oscillation de mouton pendule coïncide avec le plan axial de l'entaille.
- On écarte le couteau de la verticale à une hauteur correspondant à une énergie de départ $W_0=300$ joules.
- On libère le couteau. Dans sa chute en passant à la verticale, il brise l'éprouvette, et l'index à frottement se déplace sur l'échelle pour indiquer la valeur de l'énergie absorbée.

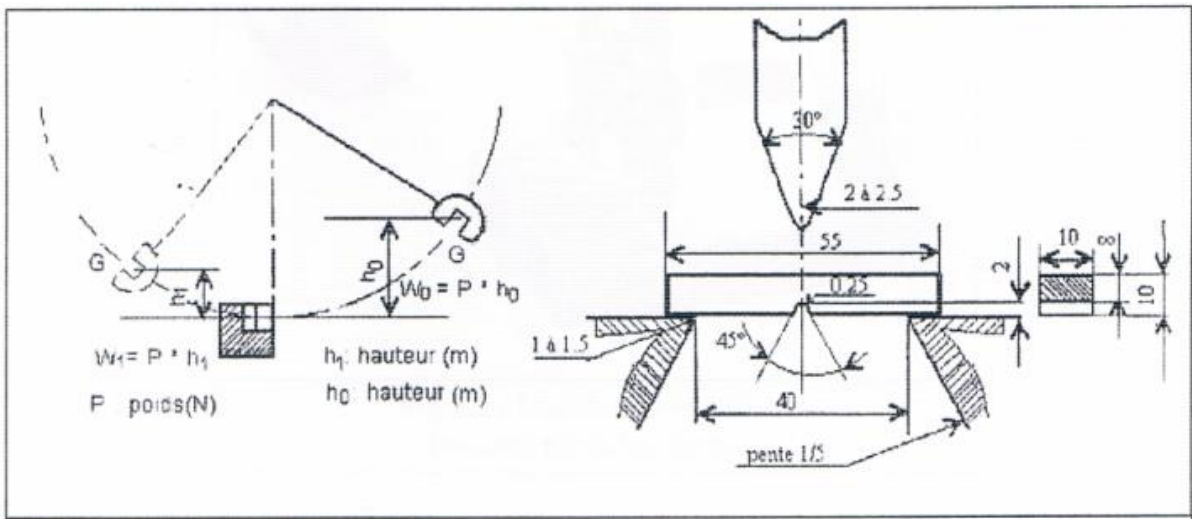


Figure 2.8 : Schéma de principe de l'essai de résilience.

- **Machine de résilience :**

Les essais de résilience ont été effectués à l'aide d'un mouton pendule rotatif (Charpy) au niveau du laboratoire contrôle des matériaux de L'ENMTP représenté sur la figure si dessous.



Figure 2.9 : Mouton pendule Charpy de capacité 300J

- Le couteau est écarté de la verticale à une hauteur correspondant à une énergie de départ

$$W0 = m. g. h = 300 \text{ Joules}$$

- On libère le pendule et dans sa chute, le couteau brise l'éprouvette.
- On mesure la hauteur à laquelle remonte le pendule pour calculer l'énergie non absorbée

$$W1 = m. g. h'$$

- On calcule la différence

$$W0 - W1 = m. g. (h - h') = W$$

Avec m : masse du pendule ;

g : gravité ;

h : hauteur initiale du pendule ;

h' : hauteur après rupture de l'éprouvette.

La résilience s'exprime en joules ou en joules par centimètre carré (Cm²) si en rapporte à la section sous entaille de l'éprouvette, ce qui permet de définir la résilience (ou ténacité) du matériau par :

$$K_{CV} = \frac{\text{Énergie absorbée par la rupture}}{\text{Surface à l'endroit de l'entaille en cm}^2} = \frac{W_0 - W_1}{S} [\text{Joule/cm}^2]$$

Chapitre 3

Résultats et discussions

Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les principaux résultats en l'occurrence l'influence de la température d'austénitisation (1000, 1025, 1050, 1075 et 1100°C) sur l'ensemble des échantillons préparés, maintenus pendant 30 minutes ainsi que le milieu de refroidissement (Eau notée "E" et Eau glacée notée "EG") sur les propriétés microstructurales et structurales et propriétés mécaniques (dureté caractérisé par des essais de dureté Vickers et la résistance aux chocs caractérisé avec un essai Charpy).

3.1. Analyses microstructurales au microscope optique (MO)

La figure suivante (figure 3.1.a) illustre la microstructure de la pièce dite "témoin" qui n'a subi aucun traitement thermique, c'est la pièce brute de livraison. On constate une microstructure à grains sphéroïdales à taille constante. Le spectre de diffraction X (figure 3.1.b) de l'échantillon témoin a révélé la présence de pics correspondant à la phase majoritaire de type Fe_3C et une autre phase formée du manganèse alpha ($\alpha\text{-Mn}$).

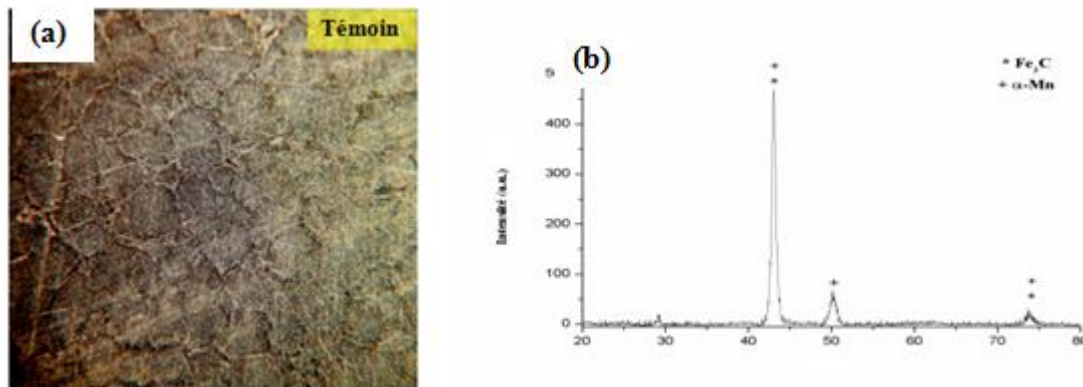
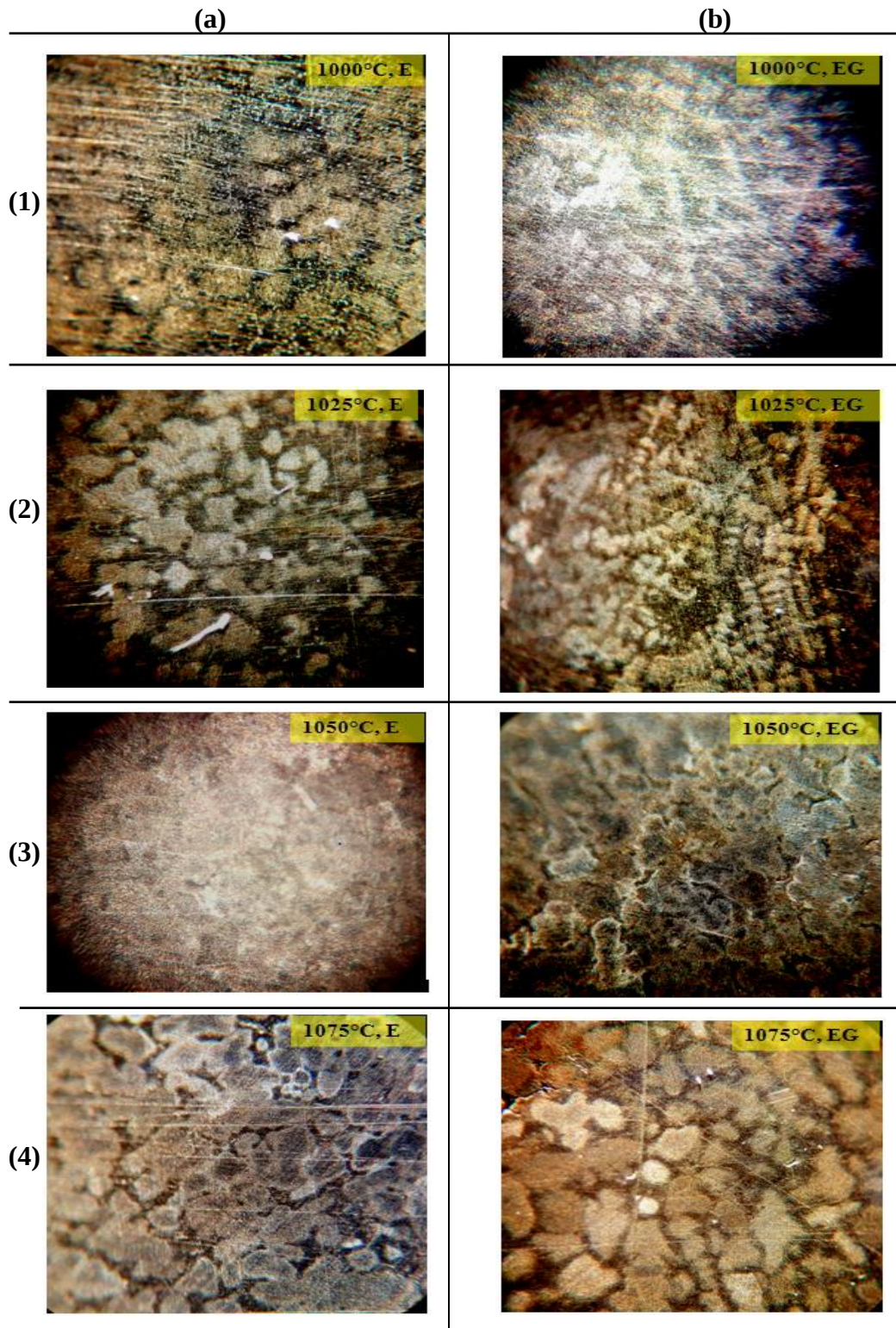


Figure 3.1 : a. Microstructure de la pièce brute de livraison dite "témoin", b. spectre de diffraction X de cet échantillon.

Dans ce qui suit, on présentera l'évolution de la microstructure de notre acier au manganèse en fonction de la température de traitement thermique de trempe et du milieu de refroidissement.

Les résultats obtenus sont rassemblés comme l'indique la figure 3.2:

- les chiffres (1), (2), (3), (4) et (5) représentent les différents échantillons traités à différentes températures de trempe (1000, 1025, 1050, 1075 et 1100°C).
- (a) représente les microstructures des différents échantillons obtenues dans le milieu de refroidissement qui est l'eau (**Agrandissent X600**).
- (b) représente les microstructures des différents échantillons obtenues dans le milieu de refroidissement qui est l'eau glacée (**Agrandissent X600**).



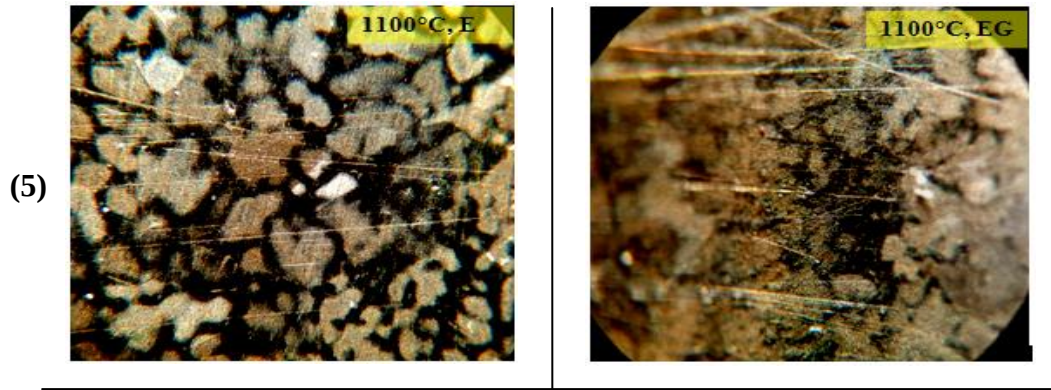


Figure 3.2 : Microstructures des différents échantillons traités. a) refroidis à l'eau et b) refroidis à l'eau glacée.

- **Pour l'échantillon traité à 1000°C** et trempé à l'eau, la microstructure obtenue au microscope optique est similaire à celle de l'échantillon témoin (1.a). Alors qu'avec un refroidissement à l'eau glacée, on constat une morphologie formée de grains allongés (1.b).
- **Pour l'échantillon traité à 1025°C** et trempé à l'eau, la microstructure obtenue est probablement formé d'une phase noire qui est majoritaire au détriment de la phase blanche (2.a). Par contre, pour le même échantillon trempé à l'eau glacée, sa microstructure est composée de grains type dendritique (2.b).
- **Pour l'échantillon traité à 1050°C et 1075°C**, les microstructures obtenues sont quasi similaire avec celle de l'échantillon témoin.
- **Pour l'échantillon traité à 1100°C**, on remarque qu'avec un refroidissement à l'eau, la morphologie est prédominée par une phase noire. Alors que celui l'eau glacée, on constate que la phase noir est moins existante.

3.2. Analyses structurales par la diffraction X

La figure 3.3 représente les différents spectres des échantillons traités suivis d'une trempe à l'eau et l'eau glacée.

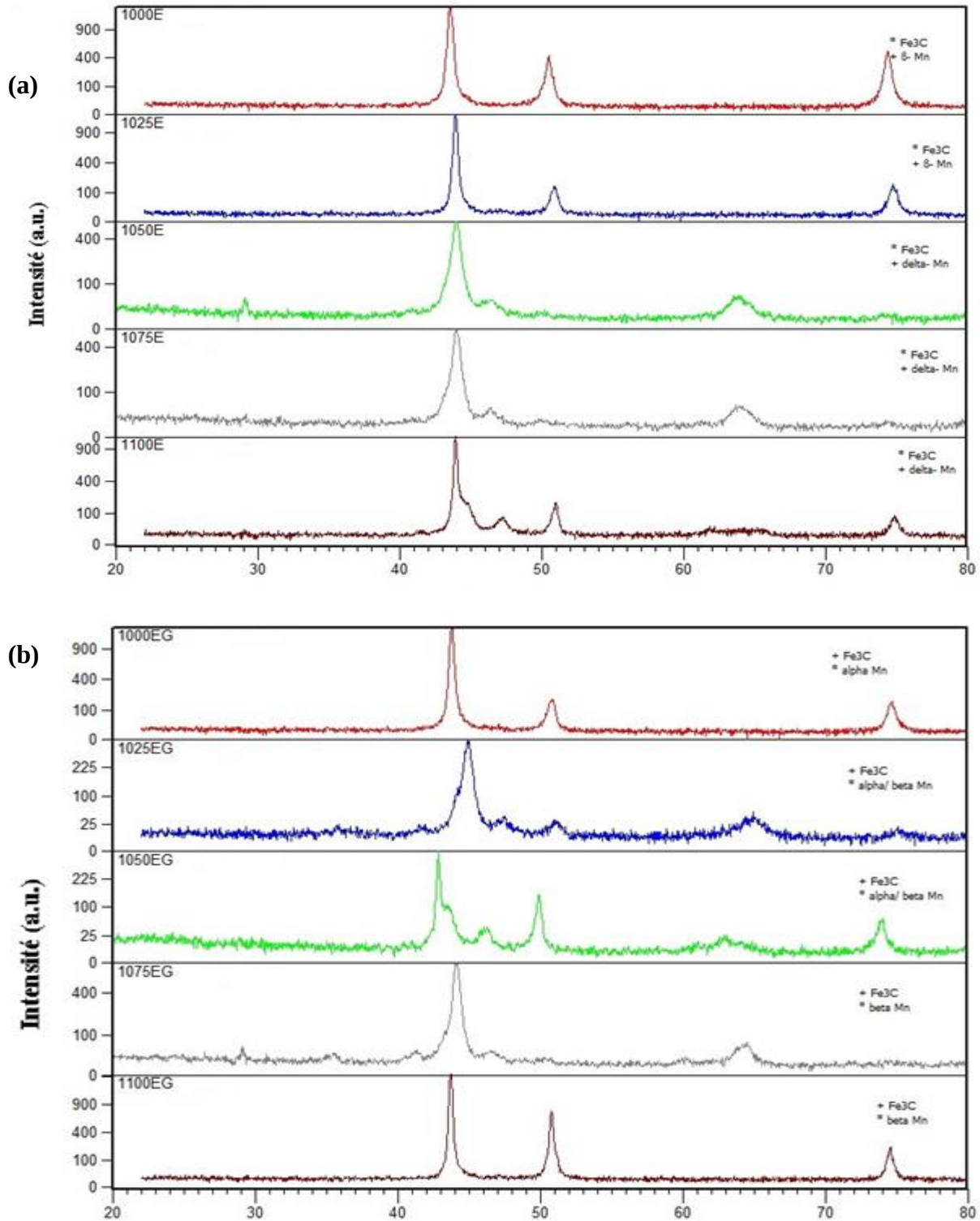


Figure 3.3: Spectres de diffraction X des différents échantillons. a) trempés à l'eau b) trempés à l'eau glacée.

- Pour l'échantillon traité à 1000°C, cet échantillon a révélé la présence de pics correspondant à la phase majoritaire de type Fe_3C et une autre phase formée du manganèse betta ($\beta\text{-Mn}$) pour une trempe à l'eau.

Pour l'échantillon trempé à l'eau glacée, nous remarquons la réapparition du manganèse alpha ($Mn-\alpha$) existant dans le bruté probablement formé sous l'effet de la vitesse de refroidissement, et de la cémentite tel que le montre la figure 3.3.

- **Pour l'échantillon traité à 1025°C**, on remarque toujours la présence de la cémentite (Fe_3C), du manganèse β détecté par DRX pour l'échantillon traité à l'eau (Figure 3.3.a) et la diminution d'intensité du spectre qui porte le manganèse β .

Celui trempé à l'eau glacée, on remarque que l'intensité du spectre portant la phase du manganèse alpha beta ($\alpha-\beta-Mn$) est très petite comparons aux autres échantillons et présence de la cémentite.

- **Pour l'échantillon traité à 1050°C**, à cette température de traitements on remarque toujours la présence de la cémentite (Fe_3C) et l'apparition d'une nouvelle phase appelée manganèse Δ ($Mn-\Delta$) pour l'échantillon trempé à l'eau.

L'échantillon qui a subi une trempe à l'eau glacée, on remarque qu'à cette température notre acier garde les mêmes phases que celles de l'échantillon traité à 1025°C trempé à l'eau glacée.

- **Pour l'échantillon traité à 1075°C** est trempé à l'eau on remarque toujours la présence de la cémentite (Fe_3C) et apparition d'une nouvelle phase appelée le manganèse Δ ($Mn-\Delta$).

Pour celui trempé à l'eau glacée, on remarque l'apparition de la phase nommée manganèse beta ($\beta-Mn$), avec toujours l'existence de la cémentite.

- **Pour l'échantillon traité à 1100°C**, on remarque que pour les deux milieux de refroidissements on a les mêmes phases existantes dans l'échantillon traité à 1075°C mais avec des intensités différentes.

3.3. Discussion des résultats des essais mécaniques

3.3.1. Essai de dureté Rockwell

Afin de voir l'influence des traitements thermiques, nous avons mesuré la dureté type Vickers avec une charge de 30 Kgf des échantillons témoin et ceux traités à différentes températures d'austénitisation **1000°C, 1025°C, 1050°C, 1075°C et 1100°C** suivis d'une trempe à l'eau et l'eau glacée. Les mesures ont été effectuées sur des surfaces polies des différents échantillons traités avec une charge de 30kgf pendant 30 secondes. Les valeurs de duretés obtenues résultent de la moyenne arithmétique de trois essais comme illustrées dans l'histogramme de la figure 3.4.

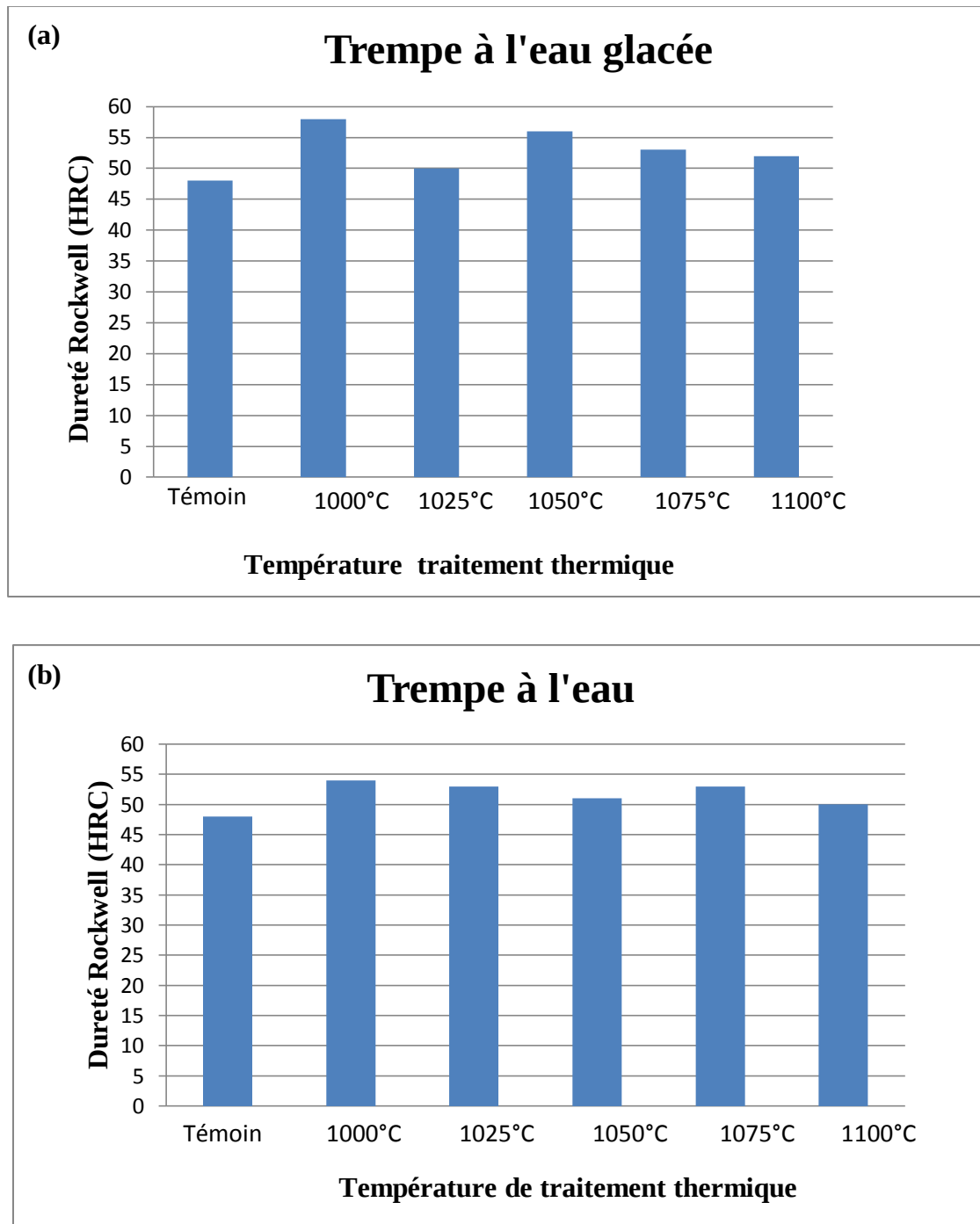


Figure 3.4 : Dureté Rockwell des différents échantillons. a) trempés à l'eau glacée, b) trempés à l'eau.

Pour mieux expliquer la dureté, une étude comparative a été effectuée comme le montre la figure 3.5

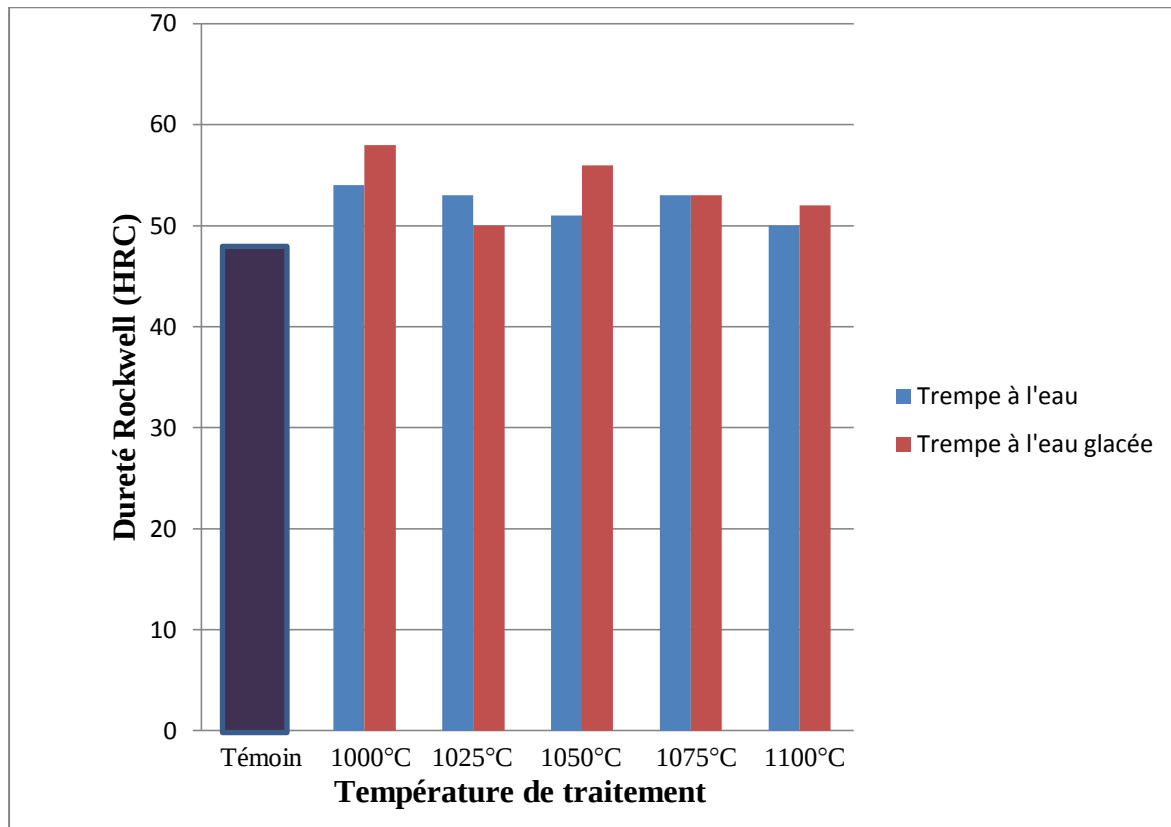


Figure 3.5 : Histogramme comparatif des valeurs de dureté (Rockwell).

A travers cet histogramme, on remarque clairement que notre acier traité à 1000°C puis trempé à l'eau glacée présente la plus grande valeur de dureté de l'ordre de 58 HRC contre une valeur de 54HRC pour celui trempé dans l'eau.

- Pour celui traité à la température de 1025°C, on constate l'effet inverse celui trempé dans l'eau normale présente une dureté de 53HRC contre 48HRC pour l'échantillon trempé dans de l'eau glacée. Ceci peut s'expliquer par la morphologie dendritique qui influe négativement sur la dureté du matériau. A 1050°C, l'échantillon trempé à l'eau glacée donne une meilleure dureté de l'ordre de 56HRC. Un fait remarquable est observé pour le traitement thermique effectué à 1075°C où on note pratiquement la même dureté pour les deux milieux de refroidissement ; Ceci est du vraisemblablement aux microstructures obtenues qui sont similaires. A la température d'austénitisation 1100°C, une trempe à l'eau glacée donne légèrement une meilleure dureté (52HRC contre 50HRC pour la trempe à l'eau normale).

3.3.2. Essai de résilience

Afin de voir l'influence des traitements thermiques, nous avons mesuré la résilience des échantillons témoin et ceux traités à différentes températures d'austénitisation **1025°C**, **1050°C**, **1075°C** et **1100°C** suivis d'une trempe à l'eau et l'eau glacée, nous avons évité de travailler sur la température de **1000°C** vue qu'à cette température nous avons une trop forte dureté qui donnera une fragilisation de notre acier.

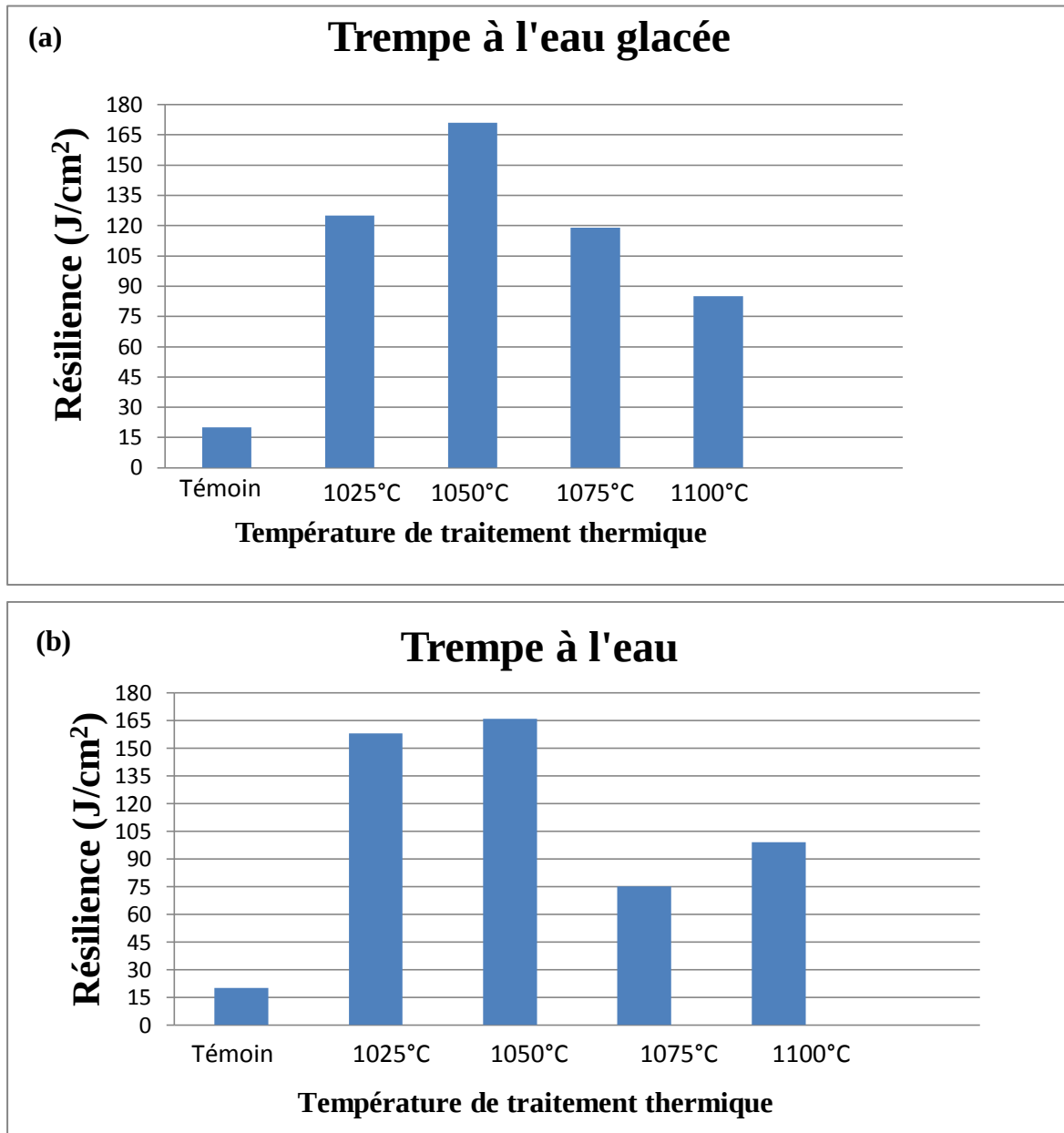


Figure 3.6 : La résilience des différents échantillons. a) trempés à l'eau glacée, b) trempés à l'eau.

Pour mieux expliquer la résilience, une étude comparative a été effectuée comme le montre la figure 3.7.

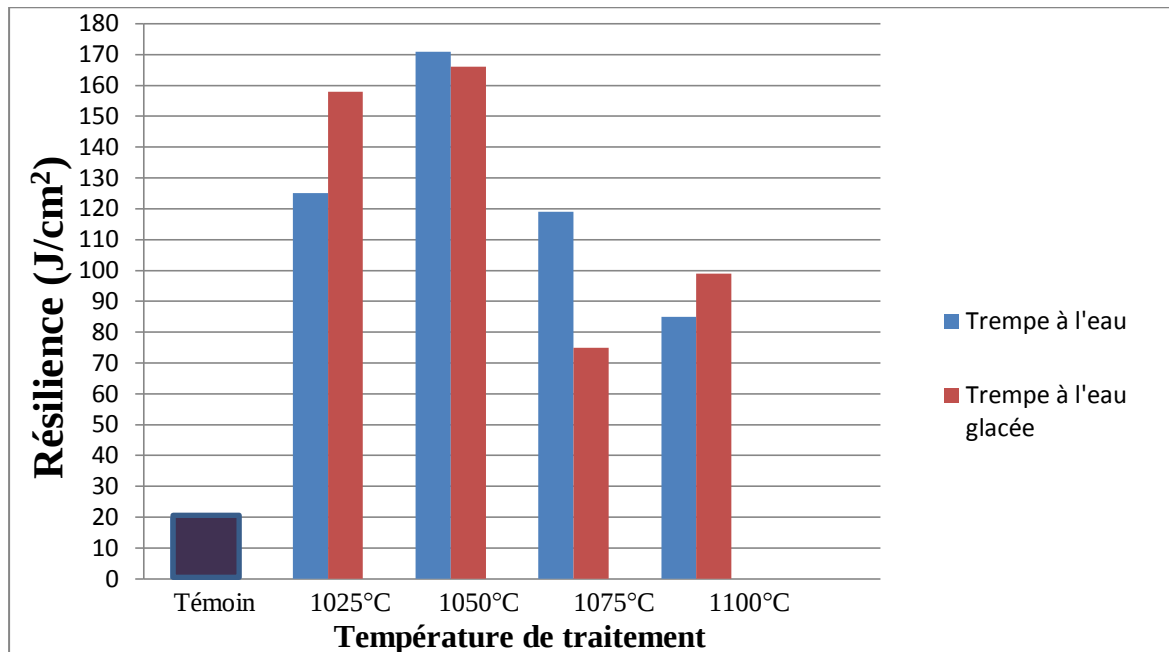


Figure 3.7 : Histogramme comparatif des valeurs de résilience.

- On remarque qu'on obtient une très bonne résistance au choc pour les températures 1025°C et 1050°C trempé à l'eau et à l'eau glacée dépassant les 160J. Bien que la trempe à l'eau glacée donne une dureté de 56HRC, mais du point de vue économique on préconise une trempe à l'eau qui a donnée tout de même une dureté supérieure à 50HRC.
- On remarque que l'énergie de rupture diminue, pour les échantillons traité à 1075°C et 1100°C. Cela peut s'expliquer par la taille de grain obtenu par le microscope optique à ces deux températures.

• Conclusion

La température de traitement la plus adéquate est celle à 1050°C avec une trempe à l'eau à température ambiante qui donne une dureté supérieure à 50HRC avec une résistance au choc supérieur à 160J.

Conclusions

Conclusions et perspectives

Ce travail nous a permis d'apporter plus de compréhension sur le matériau utilisé dans la fabrication des mâchoires des concasseurs de roche. Ce matériau est un acier au manganèse très utilisé pour les pièces qui travaillent au choc. Notre étude nous a permis de voir et de suivre l'évolution de l'influence d'un traitement thermique sur le comportement microstructurale, structurel et mécanique de cet acier.

Afin de mettre un lien entre la résistance au choc de notre acier et sa structure nous avons fait des analyse DRX et des mesures de dureté Vickers pour chaque type de traitement. A travers les résultats, nous concluons que :

- La température d'austénitisation influe sur les propriétés mécaniques de l'acier étudié (Dureté, résistance aux chocs et résistance à l'usure).
- La vitesse de refroidissement influe également sur les propriétés mécaniques de cet acier.
- Avec une température d'austénitisation de 1050°C et une trempe à l'eau à température ambiante nous avons obtenu un matériau avec des caractéristiques d'un ordre optimales. Une résistance au choc de 166J, une dureté égale à 51HRC et une structure composée essentiellement des phases Fe_3C et de manganèse delta ($Mn-\Delta$).

Perspectives et recommandations

Ce travail a contribué à l'évaluation de l'influence des traitements thermiques sur les propriétés mécaniques d'un acier au manganèse, nous sommes convaincus qu'on n'a pas cerné tout le phénomène. De ce fait, les perspectives pour cette étude peuvent être complétées par ce qui suit :

- Reprendre les essais de résilience en augmentant le nombre d'échantillons afin de confirmer la température d'austénitisation.
- Faire une étude sur la perte de masse pour cet acier
- Refaire des traitements thermiques d'austénitisations avec d'autres milieux de refroidissements.
- Rajouter d'autres analyses microstructurales avec la microscopie électronique à balayage (MEB).

Références Bibliographiques

- [1] G. Beranger, G. Sanz." livre de l'acier ", Ed. SOLIAC, 1996.
- [2] C. CHAUSSIN et Hilly « Métallurgie, alliages métalliques » Tome 1, édition DUNOD, Montréal, 1976.
- [3] J. Paul bailon, J. Marie dorlot."Des matériaux", 3eme édition 2000-2001.
- [4] AMY, Z. (2013). Caractérisation de l'acier inoxydable X5CrNi18-10 et étude de son oxydation à température. Mémoire de magister, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie.
- [5] AZZOUG, N et BENCHEIKH, S. (2016). Optimisation des paramètres des traitements thermiques d'austénitisation de l'acier de construction mécanique XC48. Mémoire de master, Université Abderrahmane mira, Bejaia, Algérie.
- [6] HARZALLAH, R. (2010). Etude du comportement mécanique et tribologique des aciers austénitiques au manganèse : application aux cœurs de voies ferroviaires. Thèse de doctorat, l'École Nationale Supérieure des Mines, Paris.
- [7] <http://doczz.fr/doc/2469304/traitements-thermiques-des-m%25C3%25A9taux-et-alliages>
- [8] BOUDIAF, A. (2011). Relation microstructure - comportement macroscopique dans les aciers : effet de la taille de grain austénitique sur la plasticité de transformation. Thèse de doctorat, INSA de Rouen, France.
- [9] https://www.researchgate.net/publication/233038215_Microstructural_characteristics_of_Hadfield_steel_solidified_under_high_pressure
- [10]<https://www.google.dz/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://www.farspa.com/fr/print/faracciaiaustentinicimanganese.pdf&ved=0ahukewjeqkgzudruahvbpjqkhcxzbhsqfg3mam&usg=afqjcncxcpixwrtf4y0t3sk06lrphxu0q>

[11]<https://www.google.dz/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://www.farspa.com/fr/print/faracciaiaustentinicimanganese.pdf&ved=0ahukewjeqkgzudruahvbpjqkhcxzbhsqfg3mam&usg=afqjcnexcpiqxwrtf4y0t3sk06lrphxu0q>

[12]RABIA, N et KALI, A.(2017). Influence des traitements thermiques sur les propriétés mécaniques d'un acier au manganèse utilisé dans la fabrication des mâchoires à concasseur. Mémoire de master, Université Abderrahmane mira, Bejaia, Algérie.

Annexes

La résilience et la dureté obtenue pour les différents échantillons à différentes températures

Echantillon	Milieu de refroidissement	Dureté (HRC)	Résilience (J)
Echantillon témoin	Trempe à l'eau normale	48	20
	Trempe à l'eau glacée	48	20
Echantillon Traité thermiquement à 1000°C	Trempe à l'eau normale	54	/
	Trempe à l'eau glacée	58	/
Echantillon Traité thermiquement à 1025°C	Trempe à l'eau normale	53	125
	Trempe à l'eau glacée	50	158
Echantillon Traité thermiquement à 1050°C	Trempe à l'eau normale	51	171
	Trempe à l'eau glacée	56	166
Echantillon Traité thermiquement à 1075°C	Trempe à l'eau normale	53	119
	Trempe à l'eau glacée	53	75
Echantillon Traité thermiquement à 1100°C	Trempe à l'eau normale	50	85
	Trempe à l'eau glacée	52	99

Résultats de la DRX pour les échantillons trouvés avec le logiciel Highscore plus

- JCPDS brute

Name and formula

Reference code: 96-901-1069

Mineral name: Manganese-alpha
 Compound name: Manganese-alpha
 Common name: Manganese-alpha

Chemical formula: Mn_{58.00}

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic

Space group: I -4 3 m
 Space group number: 217

a (Å): 8,9130
 b (Å): 8,9130
 c (Å): 8,9130
 Alpha (°): 90,0000
 Beta (°): 90,0000
 Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm³): 7,47
 Volume of cell (10⁶ pm³): 708,06

RIR: 5,30

Subfiles and quality

Subfiles: User Inorganic
 User Metallic
 User Mineral

Quality: User From Structure (=)

Comments

Creation Date: 05/04/2013 09:53:29
 Modification Date: 05/04/2013 09:53:29
 Publication title: A refinement of the parameters of alpha manganese Locality:
 synthetic Sample: at T = 298K

COD database code: 9011068

References

Structure: Gazzara, C. P., Middleton, R. M., Weiss, R. J., Hall, E. O., *Acta Crystallographica*, **22**, 859 - 862, (1967)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	1	6,30244	14,041	0,1
2	0	0	2	4,45650	19,907	0,0
3	1	1	2	3,63872	24,443	0,9
4	0	2	2	3,15122	28,298	1,2
5	0	1	3	2,81854	31,721	0,3
6	2	2	2	2,57296	34,841	1,2
7	1	2	3	2,38210	37,734	1,3
8	0	0	4	2,22825	40,449	6,1
9	1	1	4	2,10081	43,020	100,0
10	0	2	4	1,99301	45,474	0,2
11	2	3	3	1,90026	47,828	34,7
12	2	2	4	1,81936	50,098	13,0
13	1	3	4	1,74798	52,294	15,6
14	1	2	5	1,62728	56,506	1,4
15	0	4	4	1,57561	58,535	0,6
16	3	3	4	1,52857	60,522	0,7
17	2	4	4	1,48550	62,470	1,4

18	2	3	5	1,44588	64,384	1,3
19	0	2	6	1,40927	66,268	0,3
20	1	4	5	1,37531	68,125	0,1
21	2	2	6	1,34369	69,958	2,6
22	1	3	6	1,31415	71,770	0,8
23	4	4	4	1,28648	73,563	6,8
24	0	5	5	1,26049	75,340	8,9
25	0	4	6	1,23601	77,103	0,0
26	1	2	7	1,21291	78,853	18,5
27	2	4	6	1,19105	80,593	4,9
28	0	3	7	1,17033	82,324	2,5
29	1	5	6	1,13195	85,766	2,9
30	0	0	8	1,11413	87,481	0,0
31	1	4	7	1,09711	89,194	0,7

Structure

No.	Name	Elem.	X	Y	Z	Biso	sof	Wyck.
1	Mn1	Mn	0,00000	0,00000	0,00000	0,4453	1,0000	2a
2	Mn2	Mn	0,31600	0,31600	0,31600	0,4453	1,0000	8c
3	Mn3	Mn	0,35600	0,35600	0,03400	0,4453	1,0000	24g
4	Mn4	Mn	0,08900	0,08900	0,28200	0,4453	1,0000	24g

JCPDS pour les échantillons traités a l'eau

Name and formula

Reference code:	96-900-8593
Mineral name:	Manganese-delta
Compound name:	Manganese-delta
Common name:	Manganese-delta
Chemical formula:	Mn _{2.00}

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	I m -3 m
Space group number:	229
a (Å):	3,0930
b (Å):	3,0930
c (Å):	3,0930
Alpha (°):	90,0000
Beta (°):	90,0000
Gamma (°):	90,0000
Calculated density (g/cm ³):	6,17
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	29,59
RIR:	11,60

Subfiles and quality

Subfiles: User Inorganic
 User Metallic
 User Mineral
 Quality: User From Structure (=)

Comments

Creation Date: 05/04/2013 09:50:00
 Modification Date: 05/04/2013 09:50:00
 Publication title: Second edition
 Interscience Publishers, New York, New York Sample at T = 1240 C, stable till melting point at 1245 C
 COD database code: 9008592

References

Structure: Wyckoff, R. W. G., *Crystal Structures*, **1**, 7 - 83, (1963)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	1	2,18708	41,244	100,0
2	0	0	2	1,54650	59,748	14,3
3	1	1	2	1,26271	75,184	25,5
4	0	2	2	1,09354	89,564	7,6

Structure

No.	Name	Elem.	X	Y	Z	Biso	sof	Wyck.
1	Mn	Mn	0,00000	0,00000	0,00000	0,5000	1,0000	2a

Reference code: 96-900-8591

Mineral name: Manganese-gamma
 Compound name: Manganese-gamma
 Common name: Manganese-gamma

Chemical formula: $\text{Mn}_{4,00}$

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
 Space group: $Fm\bar{3}m$
 Space group number: 225

a (Å): 3,8630
 b (Å): 3,8630
 c (Å): 3,8630
 Alpha (°): 90,0000
 Beta (°): 90,0000
 Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm³): 6,33
 Volume of cell (10⁶ pm³): 57,65

RIR: 8,46

Subfiles and quality

Subfiles: User Inorganic
 User Metallic
 User Mineral

Quality: User From Structure (=)

Comments

Creation Date: 05/04/2013 09:50:00
 Modification Date: 05/04/2013 09:50:00
 Publication title: Second edition
 Interscience Publishers, New York, New York Sample at T = 1100 C
 COD database code: 9008590

References

Structure: Wyckoff, R. W. G., *Crystal Structures*, **1**, 7 - 83, (1963)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	2,23030	40,410	100,0
2	0	0	2	1,93150	47,008	46,2

3	0	2	2	1,36578	68,666	24,5
4	1	1	3	1,16474	82,806	26,4
5	2	2	2	1,11515	87,380	7,6

Structure

No.	Name	Elem.	X	Y	Z	Biso	sof	Wyck.
1	Mn	Mn	0,00000	0,00000	0,00000	0,5000	1,0000	4a

Résumé

Le choix d'un matériau pour une application donnée nécessite de s'assurer de la durabilité dans ses conditions d'emploi. Ce travail mené sur l'influence des traitements thermiques sur les propriétés mécaniques de l'acier Hadfield, et encore l'étude de l'état microstructural de base, sur le rendement et la durée de vie des pièces fabriquées soumises à des sollicitations continues d'usure et de choc, cet acier est recommandé pour les industries lourdes tel que les concasseurs qui travaillent dans un environnement hostile.

Dans le but d'assurer une meilleure durabilité et résistance à l'usure, des traitements thermiques d'austénitisation ont été effectués sur nos échantillons.

Une caractérisation microstructurale et structurale a été réalisée en utilisant le microscope optique (MO) et la diffraction X (DRX). Une caractérisation mécanique basée sur les essais de dureté et les essais de résiliences a été également effectuée.

Les résultats obtenus ont montré l'influence des traitements thermiques sur la résistance au choc, la dureté et surtout à la structure des phases. Il a été noté que différentes valeurs et phases sont obtenues avant et après traitement thermique.

ملخص

يتطلب اختيار مادة لتطبيق معين التأكد من المتانة في ظروف الاستخدام. هذا العمل قاد على التأثير من حرارة معالجة على الخاصية الميكانيكية من الفولاذ [هدفيلد] ، وبعد الدراسة مجهرية إنشائية من الدولة أساسية على المردود (كفاءة) والعمر توقع يجعل أجزاء يعرض إلى طلبات مستمرة من تآكل وصدمة ، هذا فولاذ أوصيت للصناعات الثقيلة مثل الساحقات أي يعمل في بيئة عدائية. بهدف ضمان (تأمين) متانة أفضل ومقاومة أفضل، تم إجراء علاجات حرارية بسيطة على العينات التي قمنا بتصنيعها.

تحقق توصيف هيكلية دقيق باستخدام المجهر الضوئي (MB) والحياد (DRX). تم أيضا تحديد الخصائص الميكانيكية بناء على محاولات الصلابة وعلى محاولات قوة التأثير.

وأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها تأثير علاجات الحرارة على مقاومة الصدمات، والقسوة وخصوصا تركيب المراحل. ولوحظ أن هناك قيما ومراحل مختلفة يتم الحصول عليها قبل المعالجة الحرارية وبعدها.

Abstract

The choice of a material for a given application requires ensuring durability in its conditions of use. This work carried out on the influence of heat treatments on the mechanical properties of Hadfield steel, and the study of the basic microstructural condition of the performance and service life of manufactured parts subject to continuous wear and shock stresses, This steel is recommended for heavy industries such as crushers that work in a hostile environment. In order to ensure better durability and wear resistance, austenitization heat treatments have been carried out on our samples.

Microstructural and structural characterization was performed using the optical microscope (OM) and X-ray diffraction (XRD). Mechanical characterisation based on hardness tests and resiliency tests was also carried out.

The results obtained showed the influence of heat treatments on shock resistance, hardness and above all on the phase structure. It was noted that different values and phases are obtained before and after heat treatment.