

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

UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE
PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER
FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE
SPÉCIALITÉ : GÉNIE DES MATÉRIAUX
PAR :
NOM PRÉNOM : BEDDOUR SOFIANE
NOM PRÉNOM : BENMEDJKOUNE LOUCIF

Thème

**Caractérisation des fontes fortement alliées au chrome
utilisés dans l'industrie minière**

Soutenu le 16/12/2021 devant le jury composé de :

Mr. M. BRADAI	Président
Mr. A. SAD-EDDINE	Promoteur
Mr. R. YOUNES	Examineur
Mme. M.IKHLLOUFI	Co-Encadreur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2020-2021

Remerciements

Remerciements

Au terme de ce travail, on voudra particulièrement remercier notre directeur de recherche le professeur Monsieur **A.SAD-EDDINE**, qui a assuré la direction scientifique de ce mémoire, et lui exprime notre profonde reconnaissance et nos sincères gratitude pour nous avoir guidé et orienté tout le long du parcours de cette étude.

Nous remercions également très vivement Mr. **M. BRADAI** professeur à l'université de Bejaia, qui nous a fait l'honneur d'accepter de présider le jury de ce mémoire.

Nous tiendrons à exprimer notre reconnaissance à **Mr. R. YOUNES** d'avoir accepté d'examiner ce travail et nous les remercions tous pour avoir accepté de mettre leur savoir et leur expérience au profit de ce travail.

Nous tiendrons aussi à remercier **Mme IKHELOUFI** pour leur aide et leur collaboration au niveau de l'université.

Sans oublier l'équipe du Hall Technologie de l'université de Bejaia

Que tous ceux qui ont contribué à notre formation qu'ils trouvent ici l'expression de nos sincères gratitude.

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

Dédicaces

Dédicaces

Je dédier ce modeste travail à :

Mes parents pour leur honnête et infaillible sacrifice.

Mes frères Samir, Faouzi et mes sœurs de m'avoir sans cesse soutenus et encouragées.

Mes chers ami(e)s sans oublier tous les amis de la promo génie des matériaux pour leurs aides.

Dédicace

Je dédie ce travail :

A mon binôme

A mes très chers parents qui m'ont toujours encouragé et aimé

A la mémoire de mes amis et cousins (mahdi, Mouslim, Kader, Hassen, Bilal) qui n'ont pas cessé de croire en moi, malgré votre absence vous êtes toujours dans mon cœur.

Je te dois tous mes remerciements :

A tous mes frères et mes sœurs

**A tous mes amis et amies qui m'ont soutenues A
toute ma famille**

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I recherche bibliographie	
Introduction.....	3
I- 1 Les aciers au manganèse (Hadfield).....	3
1-1-1 Définition.....	3
1-1-2 Composition chimique.....	3
1-1-3 Les propriétés physiques.....	5
1-1-4 Caractérisation mécanique.....	5
I-3 Les fontes	6
I-3-1 Définition.....	6
I-3-2 Les différentes classes des fontes	6
I-3-3 Les différents composants	7
Ferrite.....	7
L'austénite (A).....	7
Cémentite	7
a) Perlite.....	8
b) Martensite	8
c) Graphite.....	8
I-3-4 Les fontes alliées	8
I-3-5 Les fontes fortement alliées au chrome	8
I-3-6 Les fontes blanches	9
I-4 Fabrication du ciment.....	9
I-4.1 Définition.....	9
I-4.2 Les étapes de la fabrication du ciment.....	9
Extraction et concassage	9
Le broyage et le séchage	9
Le préchauffage et la cuisson.....	10
Le stockage du clinker, le broyage du ciment.....	10
I-5. Fontes blanches destinées pour l'industrie de cimenterie	10

chapitre traitements thermique

Introduction.....	12
II.1 Définition et but des traitements thermiques.....	12
II.1.1. L'austénitisation.....	12
II.1.2. Trempe	13
II.1.2.1 La trempe à l'eau.....	13
II.1.2.2. La trempe à l'huile	13
II.1.2.3. La trempe à l'air	13
II.1.3. Revenu	13
II.1.4. Recuit	13
II.2. Transformations isothermes	14
II.4. Usure	14
II.4.1.Introduction.....	14
II.4.2. Différents types d'usures	14
II.4.2.1. Usure abrasive	14
II.2.2. Usure par frottement	15
II.2.3. Usure par érosion	15
II.4.3. Paramètres agissants sur l'usure	15
II.5. L'abrasion dans l'industrie minière.....	15
II.5.1 Les différents modes de l'abrasion	16
II.5.1.1 Abrasion par glissement	16
II.5.1.2 Abrasion par broyage a grande intensité (meulage).....	16
II.6. Les mécanismes de l'usure abrasive	16

Chapitre III Matériaux et techniques expérimentales

Introduction.....	19
III.1. Matériau utilisé	19
III.2. Préparations des échantillons	19
III.3. Traitements thermiques.....	19

III.3.1. Revenue	20
III.4. Polissage.....	20
III.5. La microscopie optique	21
III.6. Micro dureté	21
III.7. Diffraction aux rayons X.....	21

Chapitre IV Résultats Et Discussions

Introduction	24
IV.1. Analyses microstructurales au microscope optique (MO).....	24
IV.2. Diffraction X du boulet traité.....	27
IV.3. Essai de la micro dureté	31
Conclusion	35
Conclusion générale	37
Bibliographie.....	38

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : Domaine de composition optimale selon les équations (I.1) et (I.2) des aciers	6
Figure I.2: Diagramme d'équilibre des aciers à 13% Mn	6
Figure I.3 : Diagramme fe-carbone-	10
Figure I.4 : Les différentes formes de graphite	11
Figure I .5 : Schéma du processus de fabrication du ciment	14
Figure I.6 : Boulets et anneaux pour pulvérisateurs à charbon en fonte blanche martensitique. 15	
Figure II.1 : Cycle d'un traitement thermique	17
Figure II.2: Schéma illustrant une usure abrasive	20
Figure II.3 : Représentation schématique de l'abrasion par broyage a grande intensité.	22
Figure II.4 : Représentation schématique de l'abrasion par gougeage dans un broyeur giratoire	22
Figure II.5: Mécanisme de l'abrasion : (a) Abrasion par effet de coupe ; (b) Abrasion par déformation	23
Figure III.1 : le boulet de broyage avant et après réchauffage à température 1050°C.	25
Figure III.2 : four électrique utiliser pour le traitement thermique.	26
Figure III.3 : polisseuse mécanique (METASERV 2000)	27
Figure III.4 : machine micro dureté Zwick/ZHV10	28
Figure III.5: diffractomètre (DRX)	28
Figure IV.1: l'image micrographique d'un échantillon (brut)fonte alliée au chrome	30
Figure IV.2 : l'image micrographique d'un échantillon (brut)fonte alliée au chrome 1: l'image Micrographique d'un échantillon (brut)fonte alliée au chrome	31
Figure IV.3 : micrographie du boulet traité à 1025°C avec (A) sans revenu, (B) revenu 200°C, (C) revenu 400°C et (D) revenu 600°C	32
Figure IV.4 : micrographie du boulet traité à 1050°C avec (A) sans revenu, (B) revenu 200°C, (C) revenu 400°C et (D) revenu 600°C	33
Figure IV.5 : spectre de diffraction X d'échantillons traité à la température d'austénitisation de1000 °C avec revenu à 200°C	34
Figure IV.6 : spectre de diffraction X d'échantillon traité à température austénitisation 1000°C avec revenu de 400°C.	34
Figure IV.7 : spectre de diffraction X d'échantillon traité à température austénitisation 1000°C avec un revenu de 600°C.	35

Figure IV.8 : spectre de diffraction X d'échantillon traité à température austénitisation 1025°C avec un revenu de 400°C.	35
Figure IV.9 : spectre de diffraction X d'échantillon traité à température austénitisation 1025°C avec un revenu de 600°C.	36
Figure IV.10 : spectre de diffraction X d'échantillon traité à température austénitisation 1050°C avec un revenu de 400°C.	36
Figure IV.11: spectre de diffraction X d'échantillon traité à température austénitisation 1050°C avec un revenu de 600°C.	37
Figure IV.12 : image de micro-dureté du boulet traité pendant 1h : a)1000°C sans revenu, b)1050°C sans revenu	37
Figure IV.13 : effet du traitement de revenu sur la micro-dureté à la température d'austénitisation 1000°C	39
Figure IV.14 : effet du traitement de revenu sur la micro-dureté à la température d'austénitisation 1000°C	39
Figure IV.15 : effet du traitement de revenu sur la micro-dureté à la température d'austénitisation 1050°C.....	40
Figure IV.16 : les courbes représentent l'essai de la micro dureté en fonction des températures d'austénitisations (1000°C,1025°C,1050°C) avec ou sans revenu (200C°,400°C,600°C)	40

Liste

Des

tableaux

Listes des tableaux

Tableau I-1 : Composition chimique type de l'acier Hadfield.....	5
Tableau I.2 : Propriétés physiques de l'acier Hadfield.....	7
Tableau I.3 : propriétés mécaniques d'un acier Hadfield déduites d'un essai de traction réalisé à faible vitesse et 20°C.....	7
Tableau II.2: caractéristique des transformations isothermes	19
Tableau III.1: composition chimique de boulet utilise dans broyage.....	25
Tableau IV.1. Représentation d'essai micro dureté (HV) soumis à des échantillons de différentes températures d'austénitisation(C°) avec ou sans de revenue(C°)	38

Introduction

Générale

Introduction générale

L'industrie mécanique est au centre du développement de toutes les activités industrielles. C'est un domaine traditionnel et vaste que l'on peut aborder sous plusieurs aspects : scientifique, technologique ou par secteur d'activité

Industrie est un terme polysémique recouvrant originellement la plupart des travaux humains. Il s'agit à présent de la production de biens grâce à la transformation des matières premières ou des matières ayant déjà subi une ou plusieurs transformations et de l'exploitation des sources d'énergie.

L'industrie minière est le secteur économique qui regroupe les activités de prospection et d'exploitation de mines. Elle concerne l'extraction des minéraux, de terres rares et des métaux dont le cuivre, le fer ou l'or.

Cette industrie, dans un contexte de mondialisation et alors que certains secteurs sont déjà confrontés à une ressource qui se raréfie doit répondre à des demandes multiples et parfois contradictoires ;

- une demande de profit à court terme, de la part des actionnaires et des marchés
- Une demande croissante de matière de la part notamment des industriels, du secteur de l'énergie (carbone...)
- une demande de respect des principes de soutenabilité du développement et des équilibres géostratégiques.
- Le deuxième chapitre : nous présenterons les techniques expérimentales et différentes étapes de traitement thermique.
- Le troisième chapitre : nous avons réservé cette partie pour les résultats expérimentaux et leurs analyses structurales, microstructurales et mécaniques.

Enfin nous terminerons par une conclusion générale.

Ce travail est porté sur l'étude de l'évolution structurale d'une fonte à 15% de chrome en fonction de la variation de la teneur en éléments d'alliages en vue de pouvoir proposer un meilleur compromis pour une meilleure tenue à l'usure.

Les éléments carburières utilisés sont le manganèse, le vanadium, le titane, le niobium et le molybdène. L'utilisation du manganèse a été favorisée lors de ce travail surtout pour son aspect économique. L'étude de l'évolution de la microstructure, ainsi que la variation d'autres propriétés (usure, micro dureté...) ont été suivies pour une teneur en manganèse variant entre 0.5 et 3%. Le manganèse a aussi été combiné avec un, deux et trois autres éléments carburières à 0.5% chacun dans le but de voir l'effet de ces

derniers sur les transformations possibles que peut subir la microstructure et aussi sur le comportement à l'usure

Chapitre I

ETUDE

BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

Le choix d'un matériau pour une application donnée nécessite de s'assurer sa durabilité dans ses conditions d'emploi, en particulier environnementales. Ceci est particulièrement vrai pour les systèmes destinés à travailler à des températures élevées et dans des atmosphères corrosives.

I- 1 Les aciers au manganèse (Hadfield)

1-1-1 Définition

L'acier austénitique au manganèse est connu depuis un siècle, et est un alliage contenant 12 à 14% de manganèse. Il est utilisé actuellement pour la fabrication des cœurs de voie, les boulets de broyage, les armoires à pare-balles et plaques anti-perçage. Pour cela on a perfectionné l'élaboration, mais on leur a donné le nom d'aciers Hadfield, car R. A. Hadfield en a entrepris l'étude systématique dès 1878. Cet acier est connu pour sa capacité extraordinaire de durcissement sous l'effet de certaines sollicitations telles que les chocs répétés ou les forces de frottement. Ni très dur, ni très doux, mais sensible au phénomène de ségrégation et présente une structure purement austénitique qu'à la suite d'un traitement d'hypertrempe, comme les aciers inoxydables bas carbone X5CrNi18.10.[1].

1-1-2 Composition chimique

Les cœurs de voie sont des pièces moulées en acier austénitique au manganèse de nuance Hadfield, dont la composition chimique type est donnée par le tableau 1. Le manganèse et le carbone sont les principaux éléments d'alliage d'un acier austénitique au manganèse :

Ils assurent la formation de la phase austénitique (CFC) γ par hypertrempe depuis la phase austénitique haute température. Combiné avec le manganèse, le carbone influence beaucoup les caractéristiques de l'austénite, c'est-à-dire sa résistance et sa limite élastique. La stabilité de l'austénite croît avec la teneur en carbone, mais la ductilité globale de l'alliage diminue quand cette dernière dépasse 1.2 % par suite de formation de précipités que l'on ne peut totalement remettre en solution.

La teneur en manganèse n'a pas un grand effet sur la limite élastique ; en revanche il augmente la résistance et la ductilité. Pour avoir une bonne ténacité et une bonne ductilité de l'austénite, il faut que la teneur en manganèse soit supérieure à 10%. 39 Tofaute et Linden ont montré que l'acier Hadfield peut avoir une structure austénitique à la température ambiante lorsque l'indice Mn_{eq} , fonction des teneurs en Mn et C, vérifie :

$$Mn_{eq} = (\%Mn) + 13(\%C) \geq 17 \quad (I.1)$$

Les éléments d'addition ont pour effet d'améliorer les propriétés, notamment mécaniques. En effet, l'ajout de chrome augmente la limite élastique et par suite la résistance à l'usure et à la déformation en service, sans nuire à la ténacité tant que sa teneur ne dépasse pas 2.5%. Le molybdène a le même effet que le chrome sur la limite élastique, et stabilise l'austénite vis-à-vis de la précipitation de carbures. En revanche, il favorise la transformation martensitique des austénites métastables. Le titane et le vanadium peuvent produire un affinement de la taille des grains et améliorent la résistance à l'usure et à la fatigue. Le silicium bloque la réaction d'oxydation et améliore sa fluidité à l'état fondu. Le phosphore a des effets néfastes sur la ductilité à chaud quand sa teneur dépasse 0.06%. Le nickel est ajouté en vue d'améliorer la soudabilité de l'alliage par son influence gamma gène.

Tableau I-1 : Composition chimique type de l'acier Hadfield

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu
0.95-1.3	0.65	11.5-14	0.05	0.03	0.5	0.75	1.75	0.045	0.3

Les propriétés mécaniques sont directement liées à la composition chimique. Pour ce type d'acier, le rapport Mn/C doit être supérieur à 11, sinon, des carbures se forment dans les joints de grains et à l'intérieur de ceux-ci. Le métal est alors plus résistant avant écrouissage mais aussi plus fragile. Cette condition s'écrit :

$$Mn \geq 11(\%C) \quad (I.2)$$

Les relations (I.1) et (I.2) définissent un domaine optimal de composition chimique des aciers Hadfield. On note que l'acier actuel de boulet de broyage se situe de la frontière définie par la relation (I-1), ce qui explique la nécessité du traitement thermique.

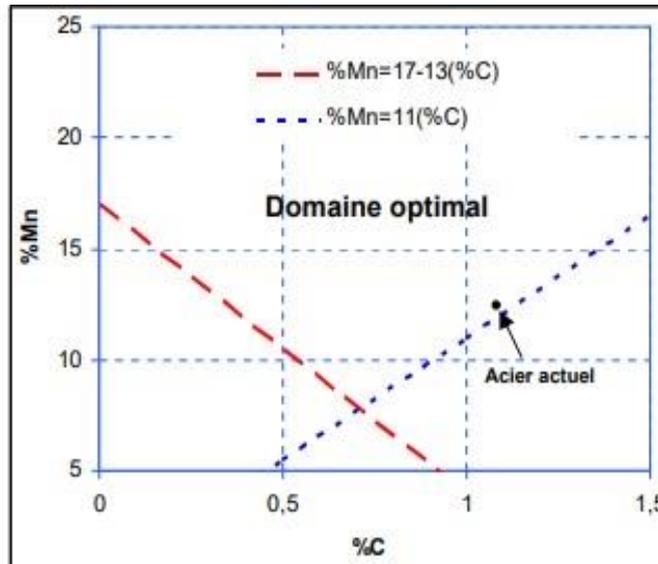


Figure I.1 : Domaine de composition optimale selon les équations (I.1) et (I.2) des aciers Hadfield.

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.

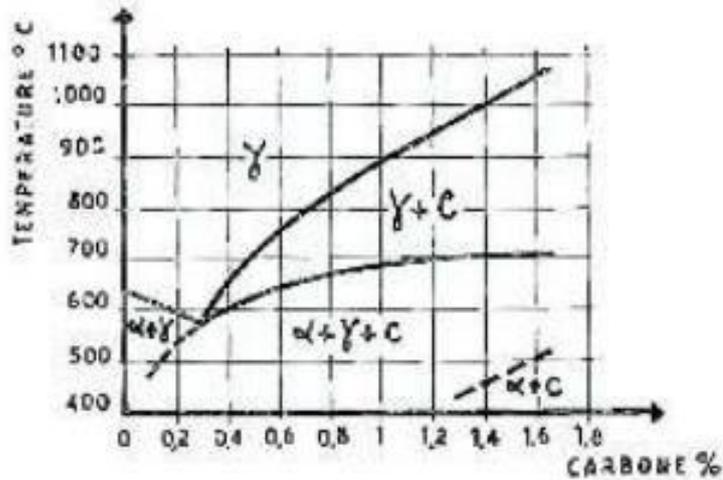


Figure I.2: Diagramme d'équilibre des aciers à 13% Mn

Ces aciers sont constitués en majeure partie d'austénite métastable. En effet, comme le montre la figure 1.2, 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.

1-1-3 Les propriétés physiques

Les propriétés physiques de l'acier Hadfield sont données par le tableau 1.2.

Tableau I.2 : Propriétés physiques de l'acier Hadfield

Point de fusion (°C)	1350
Masse volumique à 20 °C (kg.m ⁻³)	7900
Conductivité thermique à 20 °C (W.m ⁻¹ . K ⁻¹)	0.02
Résistivité électrique à 20 °C (Ω .m)	70
Chaleur spécifique à 20 °C (J.kg ⁻¹)	0.14
Retrait après solidification (mm/m)	25

1-1-4 Caractérisation mécanique

Ce matériau est caractérisé par une résistance mécanique élevée, un écrouissage important et une ductilité très élevée, ce qui lui donne une ténacité et une résilience (~2.35 MJ/m²) élevées. Les valeurs des propriétés mécaniques sont données dans le tableau qui suit

Le tableau I.3 propriétés mécaniques d'un acier Hadfield déduites d'un essai de traction

Réalisé à faible vitesse et 20 °C.

Résistance à la rupture (MPa)	650 – 1000
Limite élastique (MPa)	320 – 400
Module d'élasticité (GPa)	196 – 203
Allongement (%)	30 – 65
Striction (%)	30 – 40

I-3 Les fontes

I-3-1 Définition

La fonte, en métallurgie, est un alliage de fer et de carbone dont la teneur est supérieure à 2 %. Le carbone, qui est en sursaturation dans les fontes, peut précipiter sous forme de graphite ou de cémentite Fe_3C (figure I.3). Elles se distinguent des autres alliages de fer par leur excellente coulabilité. La fonte a une température de fusion allant de 1 135 à 1 350 °C, essentiellement en fonction du pourcentage de carbone et de silicium qu'elle contient.

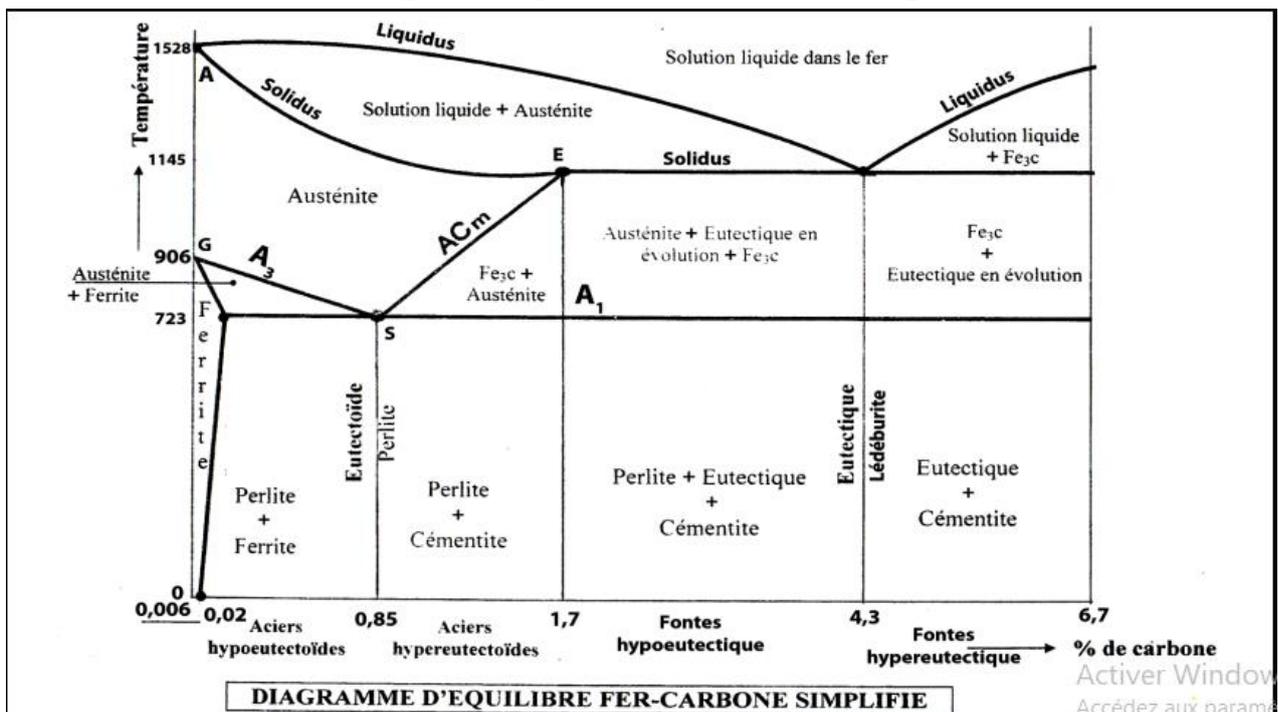


Figure I.3 Diagramme fer-carbone.

I-3-2 Les différentes classes des fontes

- Les fontes dites « grises »** contiennent du graphite à l'état de particules qui peuvent être des lamelles (fontes à graphite lamellaire) ou des nodules (fontes à graphite sphéroïdal). Les propriétés mécaniques de ces fontes dépendent de la structure de la matrice mais sont affectées par les défauts de compacité que constituent les particules de graphite (plus nocives si elles sont lamellaires, moins nocives si elles sont nodulaires).

- b) **Les fontes dites « blanches »** contiennent du carbone qui est précipité sous forme de cémentite Fe_3C et ne contiennent pas de particules de graphite. Ces fontes sont généralement dures mais fragiles.

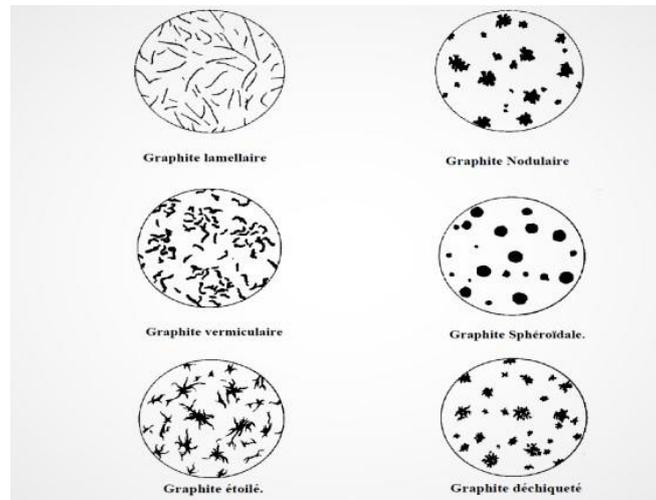


Figure I.4 Les différentes formes de graphite

I-3-3 Les différents composants

L'excès de carbone provoque la formation de phases qui donnent à la fonte une structure composite. Les composants qui vont être cités ici sont ceux qu'on peut rencontrer sur le matériau brut de coulée.

Ferrite

La ferrite apparaît au microscope sous la forme de grains polyédriques. Ainsi, la ferrite contient, en solution, du manganèse et une quantité appréciable de silicium. D'autres éléments d'alliage, telle que le cuivre ou le nickel, peuvent également s'y trouver dissous. La ferrite des fontes est relativement douce et usinable.

L'austénite (A)

C'est une solution solide de carbone et d'autres inclusions dans le fer γ . La solubilité limite du carbone dans le fer γ est de 2,14 %. L'austénite est stable à haute température, elle est peu dure et relativement malléable ($HB = 300$) [4]. La microstructure de l'austénite est composée de grains polyédriques. Elle peut exister à la température ambiante que dans un état métastable. Elle est antiferromagnétique.

Cémentite

La cémentite ou carbone de fer (Fe_3C) est une combinaison chimique de fer et de carbone dont la teneur en carbone peut atteindre 6,67 %, de dureté très élevée (700 à 800 HB), qui se forme à partir de l'austénite lors d'un refroidissement rapide, suivant le diagramme de phases métastable Fe- Fe_3C . Elle se décompose au-delà de 500 °C pour former de la ferrite et du graphite. La présence de Si dans la matrice facilite cette décomposition. Elle peut être retardée par l'ajout d'éléments d'alliage (Cr, Mn, Mo, Cu) qui stabilisent la cémentite. Dans les fontes GS, elle est surtout présente sous forme de perlite.

a) **Perlite**

Cet agrégat est formé par la juxtaposition de lamelles de ferrite et de cémentite (88 % de ferrite et 12 % de cémentite). Ces lamelles sont d'autant plus fines que la vitesse de refroidissement est élevée. C'est de cette finesse que vont dépendre les caractéristiques mécaniques de la perlite. En effet, dureté et finesse sont liées par la formule de Beliaeff: $HB \cdot D_0 = 80$.

Ou D_0 , exprimée en μm , est la distance séparant deux lamelles de cémentite. D_0 varie entre 0,26 et 0,38 μm pour une dureté comprise entre 200 et 300 HB.

Les éléments d'alliage (Cu, Cr, Mn, Mo, Ni, V) destinés à améliorer le comportement mécanique agissent principalement en modifiant la finesse de la perlite.

b) **Martensite**

Cette phase cristallise dans le système quadratique. Ce composé est obtenu par un refroidissement rapide effectuée à partir de la phase austénitique. Il ne peut donc pas être présent à l'état brut de coulée. Son apparition est en fonction de la vitesse de trempe et de la teneur en éléments d'alliage. La structure obtenue a une dureté particulièrement élevée.

c) **Graphite**

On distingue deux classes de fontes différenciées par la forme des particules de graphite: les fontes à graphite lamellaire et les fontes à graphite nodulaire. Comparativement au graphite lamellaire, le graphite nodulaire permet à la fonte d'avoir des caractéristiques mécaniques très proches de celles des aciers car la forme des nodules minimise l'effet d'entaille dans la matrice. Deux procédés sont utilisés pour obtenir des pièces en fonte à graphite soit par addition de magnésium dans la fonte, soit par traitement thermique des pièces en fonte blanche en décomposant la cémentite, ce qui permet la formation de graphite.

I-3-4 Les fontes alliées

Ce type de fontes est obtenu à partir des éléments de base des fontes courantes tel que carbone, silicium et manganèse auxquelles des éléments d'alliage sont ajoutés (nickel, chrome, molybdène). La somme des teneurs de ces éléments dépassant 3%. Les fontes spéciales sont obtenues par des fonderies spécialisées dotées de fours électriques qui permettent un contrôle précis de la température et de la composition. Les fontes spéciales sont trop demandées sur le marché parce qu'elles assurent des performances nettement supérieures à celles des fontes courantes pour des applications qui mettent en jeu des conditions d'utilisation sévères.

I-3-5 Les fontes fortement alliées au chrome

Ces fontes peuvent recevoir une addition de 12 à 39% de chrome qui permet de résister à l'oxydation à des températures allant jusqu'à 1040°C. Les fontes blanches à forte teneur en chrome sont souvent utilisées pour fabriquer des pièces complexes destinées aux applications à haute température qui ne mettent pas en jeu ni des chocs mécaniques importants ni une application brutale de la charge. Parmi les effets du chrome, c'est qu'il empêche la graphitisation et il est particulièrement efficace pour retarder le gonflement ainsi que l'oxydation aux températures élevées.[9].

I-3-6 Les fontes blanches

La cémentite contenue dans ces fontes en fait des alliages durs et fragiles. On obtient ce type de fonte par une température de coulée basse, un refroidissement rapide, un pourcentage en manganèse élevé et un faible pourcentage en silicium. Les constituants micrographiques de ces fontes sont ceux des aciers hypoeutectoïdes. L'eutectique, appelé lédéburite, subit une transformation à la température eutectoïde (fer γ à fer α + Fe₃C), et à la température ambiante, on a de la lédéburite transformée.

I-4 Fabrication du ciment

I-4.1 Définition

Le ciment est une poudre minérale, dont la propriété est de durcir sous l'eau d'où il est appelé liant hydraulique. Obtenu par cuisson d'un mélange suivi par un broyage. La plupart des ciments sont à base de clinker et d'ajouts. Le ciment est constitué généralement à partir d'un mélange de : Calcaire (CaCO₃), Argile (SiO₂ – Al₂O₃), Sable et minerai de fer.

I-4.2 Les étapes de la fabrication du ciment

Le processus de fabrication du ciment passe par des étapes représentées sur la figure ci-dessous dont les plus importantes :

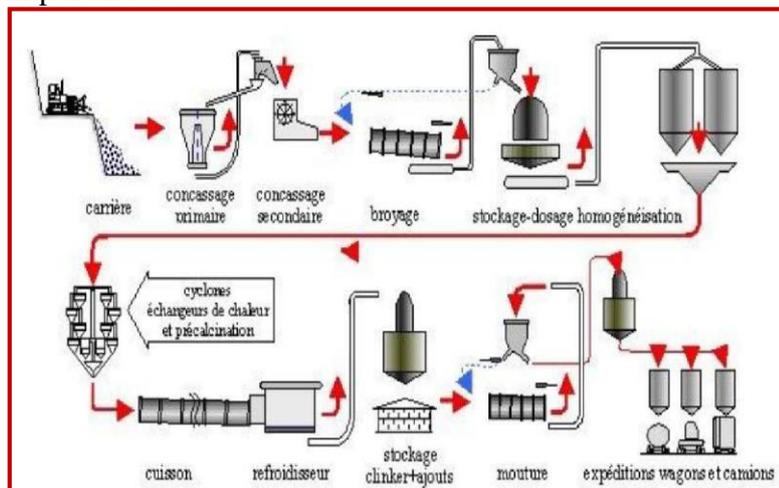


Figure I.5 : Schéma du processus de fabrication du ciment

Extraction et concassage

La matière première qui est le calcaire est extraite des carrières en utilisant des explosifs tandis que pour l'argile, on utilise simplement l'excavateur ou la pelle mécanique. Les matières sont réduites par le concasseur à une taille maximum de 80 MM. Ces dernières sont échantillonnées pour déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires (oxyde de fer, alumine, silice) et arriver ainsi à la composition chimique idéale.

Le broyage et le séchage

Les matières premières sont ensuite séchées et broyées très finement. On obtient la farine. Celle-ci sera plus tard introduite dans le four sous forme pulvérulente ou préalablement transformée en granules.

Le préchauffage et la cuisson

Avant introduction dans le four, la farine est chauffée à environ 800 °C dans un préchauffeur à grille ou à cyclones. La cuisson se fait dans un four rotatif où la température de la flamme avoisine 1450°C. A la sortie du four, la matière appelée clinker passe dans un refroidisseur.

Le stockage du clinker, le broyage du ciment

Le clinker refroidi est ensuite broyé très finement dans un broyeur à boulets avec d'autres ajouts : cendres de centrales thermiques, laitier de haut-fourneau, gypse, dont les pourcentages déterminent les différents de qualités de ciment. A chacune des étapes de la transformation de la matière, des échantillons sont automatiquement prélevés et analysés de façon très rigoureuse.[3].

I-5. Fontes blanches destinées pour l'industrie de cimenterie

Les fontes martensitiques au nickel-chrome figure I-6. Connues sous le nom « Ni-Hard » sont les premières fontes blanches alliées à être utilisées dans le domaine industriel. Ces fontes sont caractérisées par un coût de fabrication relativement faible et par d'excellentes performances.



Figure I.6 : Boulets et anneaux pour pulvérisateurs à charbon en fonte blanche martensitique.

La teneur en carbone, dans les fontes blanches martensitique, varie entre 2,5 et 3,6 %. Ce sont les matériaux les plus économiques ayant satisfait les utilisations dans le domaine du broyage et concassage. Dans ces fontes, le nickel est l'élément d'alliage principal, sachant que pour les teneurs comprises entre 3,3 et 5,0 %, le nickel permet d'éviter la formation de la perlite et assure ainsi la formation de la martensite. La présence du chrome (1,4 - 3,5) % donne lieu à des carbures stables. La composition des fontes blanches martensitiques est fonction des épaisseurs des pièces et aussi des caractéristiques exigées pour leur utilisation, à savoir la dureté et la résistance.

A l'état brut de coulée, les fontes martensitiques au nickel-chrome sont caractérisées par une prédominance d'austénite ce qui diminue un peu leur dureté.

CHAPITRE

II

**Traitements
thermiques**

Introduction

La structure micrographique des aciers est liée aux procédés d'élaboration et doit répondre aux conditions dans lesquelles les procédés de mise en forme sont utilisés. Elle peut être profondément modifiée par le traitement thermique. Ces modifications structurales, issues du traitement thermique, permettent de conférer au matériau des propriétés particulières adaptées à sa meilleure utilisation sous forme de pièce finie, ou à sa mise en œuvre dans les meilleures conditions sous forme de demi-produit.

II.1 Définition et but des traitements thermiques

Les traitements thermiques consistent en un ensemble d'opérations de chauffage, de maintien à une température (séjour) et de refroidissement appliqué à des alliages métalliques à l'état solide.

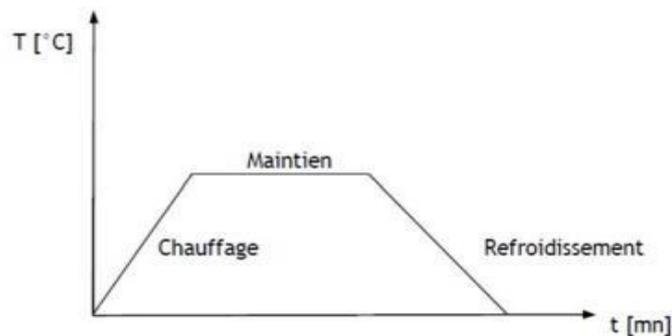


Figure II.1 : Cycle d'un traitement thermique.

Les aciers alliés à structure austénitique nécessitent le plus souvent un traitement thermique spécifique pour obtenir une matrice déterminée dont le but d'obtenir des aciers avec :

- La réduction des contraintes internes,
- L'accroissement de l'usinabilité,
- L'obtention d'une bonne ténacité,
- L'augmentation des caractéristiques mécaniques,[10].
- L'augmentation de la résistance à l'usure.

II.1.1. L'austénitisation

L'austénitisation doit être conduite de façon à donner à la fin du maintien isotherme (en général une à deux heures entre 850 et 950° C) une austénite suffisamment homogène et à teneur en carbone définie.

L'élévation de la température d'austénitisation a pour effet de retarder et de ralentir la transformation bainitique et donner une structure finale plus grossière avec plus d'austénite résiduelle. Donc une bonne uniformité de la température ($\pm 5^{\circ}\text{C}$) est nécessaire. La décarburation et l'oxydation superficielles est assurée par une atmosphère contrôlée. Durant cette période, la structure de la fonte se fait en transformant les éléments microstructuraux ferritique α (CC) en austénite γ (CFC) tandis que la cémentite et les carbures sont isolées dans l'austénite.[15].

II.1.2. Trempe

Après chauffage et maintien, les pièces sont soumises à un refroidissement selon le mode approprié, dont la vitesse est réglée par le milieu de trempe utilisé. Il existe trois types de trempe

:

II.1.2.1 La trempe à l'eau

Dans la pratique de tous les jours, l'utilisation de la trempe à l'eau est la plus adéquate car c'est le milieu de refroidissement le moins cher, la vitesse de refroidissement de ce dernier n'est pas constante, l'avantage de l'eau est de faire éclater la calamine au début du refroidissement et donc de nettoyer la surface et d'améliorer l'échange thermique, l'eau peut former facilement des billes de vapeur prisonnières qui ralentissent localement le refroidissement du métal et donnent naissance à des points doux et se dépend de la géométrie de la pièce.

II.1.2.2. La trempe à l'huile

La vitesse de refroidissement n'est pas constante lors d'une trempe à l'huile, elle est maximale lorsque la température de surface de la pièce est encore assez élevée et généralement comprise entre 400° et 600° c suivant les propriétés de l'huile considérées.

II.1.2.3. La trempe à l'air

C'est le cas le plus simple à mettre en œuvre, les risques de déformations sont plus grands et plus rapide, le milieu de trempe est choisi surtout en fonction de la trempabilité de l'acier.

II.1.3. Revenu

Le revenu a pour rôle essentiel de faire évoluer une structure hors équilibre, obtenue par trempe, vers un état proche de l'équilibre. Il s'effectue à température modérée inférieure à la température de trempe.

La trempe et le revenu des aciers n'ont pas seulement pour but de régler la dureté mais visent plutôt à établir le meilleur compromis entre l'usinabilité, la résistance à l'usure et les caractéristiques mécaniques (résistance, résilience, plasticité).

II.1.4. Recuit

Le recuit consiste à mettre le métal dans un état d'adoucissement ne présentant aucune trace laissée par les diverses manipulations subies antérieurement par le métal. Le recuit est un traitement thermique qui est composé d'opérations de chauffage, du séjour et un refroidissement ultérieur lent.

II.2. Transformations isothermes

Le diagramme d'équilibre indique la constitution normale de l'acier, constitution d'équilibre, pour les différentes températures. Ces transformations isothermes sont illustrées dans le tableau qui suit.[10].

Tableau.I.1 : caractéristique des transformations isothermes

Température °C	Transformation		Structure Obtenu	Durée de la structure finale
	Début	Fin		
700	4.2 min	22 min	Perlite	15
600	1s	10 s	Perlite	40
500	1s	10 s	Perlite	44
400	4s	2 min	Bainite+ Perlite	43
300	1 min	30 min	Bainite	53
200	15 min	15 h	Bainite	60
100	-	-	Martensite	64
20	-	-	Martensite	60

II.4. Usure

II.4.1. Introduction

L'usure est une conséquence du phénomène de frottement entraînant une émission de débris avec perte de masse, de côtes, de forme, et s'accompagnant de transformations physiques et chimiques des surfaces. Elle est généralement dommageable, mais peut aussi être bénéfique, par exemple lors du rodage, l'affûtage de l'outil, la finition d'une surface par rectification, L'usure est un problème difficile et sujet à discussion. Il n'existe pas d'unité standard de l'usure

: l'unité la plus souvent utilisée est le taux d'usure généralement exprimé par la masse perdue rapportée à la distance parcourue

II.4.2. Différents types d'usures

II.4.2.1. Usure abrasive

Le mécanisme de l'usure abrasive est principalement le même que celui rencontré lors de l'usinage, broyage et polissage. Ce mécanisme de dégradation fait intervenir dans les premiers instants uniquement les corps antagonistes. Par la suite, il devient rapidement une usure à trois corps. L'usure abrasive à deux corps a lieu lorsqu'une surface (généralement plus dure que la seconde) enlève du matériau à partir du second. En cours de broyage, ces matières abrasives produisent une série d'indentations.

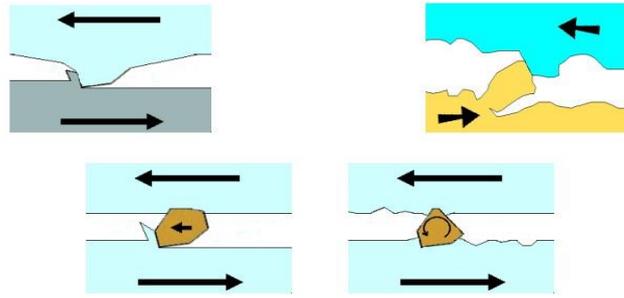


Figure II.2: Schéma illustrant une usure abrasive.

II.2.2. Usure par frottement

Le frottement est fonction de la zone de contact réelle entre les deux surfaces ainsi que de la nature et de la force de l'interaction. Le frottement est attribué à l'accrochage réciproque des aspérités présentées par les surfaces en contact. Le frottement s'exerce suivant un plan sur lequel viennent affleurer les aspérités tronquées appartenant aux deux surfaces. Il est préférable que les duretés des métaux en présence ne soient pas trop différentes, de manière à ce que la décapitation des aspérités puisse se poursuivre suivant les deux surfaces. Si l'un des métaux était très dur comparativement à l'autre, l'usure du métal mou se poursuivrait indéfiniment.

II.2.3. Usure par érosion

L'érosion est provoquée par un gaz ou un liquide qui peut ou pas emporter les particules solides entraînées empiétant sur une surface. Quand l'angle de l'impact est petit, l'usure provoquée est étroitement analogue à l'abrasion. Quand l'angle de l'impact est normal à la surface, le matériau est déplacé par écoulement plastique ou est délogé par rupture fragile.[8].

II.4.3. Paramètres agissants sur l'usure

Les paramètres qui influent sur le taux d'usure sont :

- Les conditions opératoires : la charge, la température, la vitesse, la pression de contact ; - L'aire de contact ;
- L'état physico-chimique des surfaces frottantes (la rugosité, les couches d'oxyde);
- Les propriétés mécaniques des matériaux (dureté); - L'absence ou la présence du lubrifiant.

II.5. L'abrasion dans l'industrie minière

L'abrasion est un phénomène de dégradation imposé par la nature et le milieu des opérations d'exploitation des mines et gisements des différents matières premières. Le matériel utilisé se frotte de plus en plus avec les roches et les agrégats qui sont généralement composés de silice (l'abrasif le plus dur de la nature). Pour cela, le but d'améliorer la résistance à l'usure abrasive de certains matériaux ferreux est considérée comme une option stratégique, et ce afin de réduire le coût de fabrication des produits miniers (ciment, minerais)

II.5.1 Les différents modes de l'abrasion

II.5.1.1 Abrasion par glissement

Comme son nom l'indique, elle survient quand les particules abrasives se déplacent avec une faible force normale sur les pièces usées, Le résultat étant la formation de minuscules rainures sur la surface des pièces.

II.5.1.2 Abrasion par broyage a grande intensité (meulage)

A la différence du cas précédent, les forces appliquées sont assez élevées pour écraser les particules abrasives. Habituellement ces forces sont appliquées dans une situation a trois corps ou les particules sont coincées entre deux surfaces mobiles. Par exemple les plaques de blindage et boulets de broyage dans l'industrie minières et cimenteries.

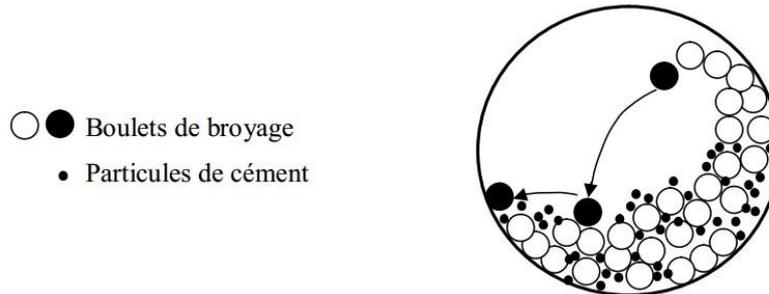


Figure II.3 : Représentation schématique de l'abrasion par broyage a grande intensité.

II.6. Les mécanismes de l'usure abrasive

Lors de glissement des particules abrasives, l'interface est soumise à des contraintes concentrées aux différents points de matériau, selon les caractéristiques géométriques et physico-chimiques du contact étudié, les particules peuvent détériorer une surface suivant trois mécanismes :

- *Par formation de rainure*, cas où les particules ont des aiguées et tranchantes comme un couteau. La matière est repoussée à l'avant et se termine par arrachement et détérioration de la surface. Si le matériau est fragile, ce mécanisme se complique par la formation de fissures.
- *Par déformation*, c'est le cas des matériaux ductiles où les particules creusent des sillons et forment des bosses adjacentes, le matériau est continuellement déplacé. Avec l'usure successive, et juste à côté des rayures antérieures, il y aura arrachement de matière.
- *Par écaillage*, sous l'effet des contraintes engendrées par les particules excédant les tensions critiques de propagation de fissures, de gros débris d'abrasion se produisent à la surface du matériau. Ce mécanisme d'abrasion est limité aux matériaux fragiles.[7].

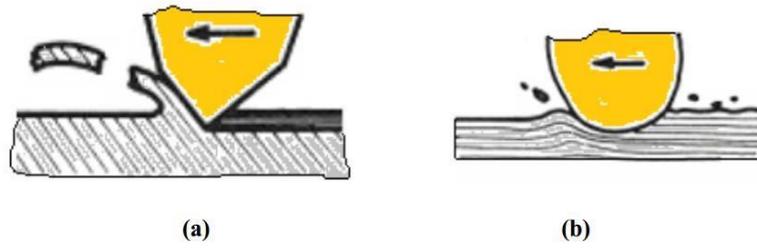


Figure II.5: Mécanisme de l'abrasion : (a) Abrasion par effet de coupe ; (b) Abrasion par déformation.

Chapitre III

**Matériaux et
techniques**

Expérimentales

Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les différentes techniques expérimentales mises en œuvre pour la caractérisation des microstructures et des propriétés mécaniques de ces fonte alliée au chrome. Dans un premier temps on a effectué un traitement thermique de trempe sur 13 échantillons suivi par un traitement thermique de revenu. L'identification et la caractérisation structurale, microstructurale ont été observé au moyen la diffraction au rayon X (DRX) et microscopie optique électronique (MEB). D'autre part une caractérisation mécanique est basée sur la mesure de micro dureté des différents échantillons.

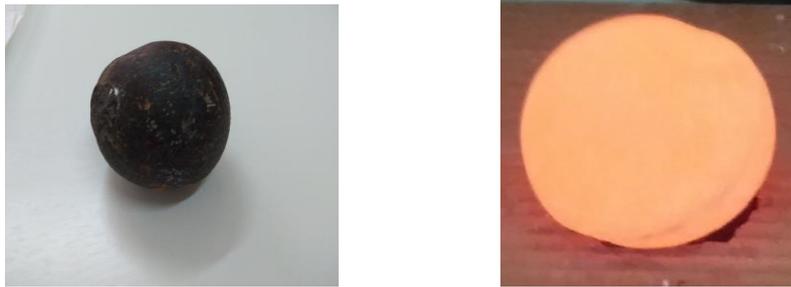


Figure III.1 : le boulet de broyage avant et après chauffage.

III.1. Matériau utilisé

On utilise une fonte blanche alliées au chrome avec la composition chimique donné dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : composition chimique de boulet utilisé dans broyage [15].

%	C%	Cr%	Ni%	Mo%	Si%	Mn%
Fonte blanche Alliées au chrome	2,9 à 3,15	9 à 11	3 à 3,2	0,2 à 0,4	0,69 à 0,89	0,37 à 0,38

III.2. Préparations des échantillons

Le boulet a été découpé en plusieurs échantillons puis on a essayé de leur donner une forme identique (géométrie et des tailles presque identiques) avec une cisaille électrique et une fraiseuse au hall technologie.

III.3. Traitements thermiques

Après la préparation des échantillons, des traitements thermiques à différentes températures d'austénitisations (1000C°, 1025C°, 1050C°) ont été réalisés au centre de recherche de l'université de Bejaia au moyen d'un four électrique avec un temps de maintien d'une heure suivi d'un refroidissement à l'eau Pour chaque une température d'austénitisation on utilise 4 échantillons.

Le but de ce traitement thermique de trempe est augmenté la dureté du matériau et la détermination de la température d'austénitisation qui offraient les meilleures propriétés mécaniques.



Figure III.2 : four électrique utiliser pour le traitement thermique.

III.3.1. Revenu

Le revenu est destiné à diminuer la fragilité et contraintes internes afin de donner à la fonte alliée au chrome les propriétés mécaniques appropriées. De ce fait, pour chaque température d'austénisations quatre échantillons ont été préparé, les échantillons trempés ont été ensuite introduits une seconde fois dans le four pour un traitement de revenu (200,400 et 600°C) pendant une heure de temps de maintien avec un refroidissement à l'eau. On notera que pour chaque température de trempe un échantillon n'a pas subi un traitement de revenu.

III.4. Polissage

Le polissage mécanique est un procédé de finition permettant de retirer, par un papier abrasif les défauts, rayures ou aspérités de la pièce. Nous obtenons des états de surface de grande qualité, caractérisés par l'homogénéité de la brillance et l'éclat.

Pour le polissage mécanique, on utilise des papiers abrasifs de carbure de silicium (SiC) de grade progressif de plus en plus faible de 200 jusqu'à 2000 monté sur les plateaux d'une polisseuse doté d'une vitesse rotation de 300 tr/min (figure 1). Il faut bien nettoyer l'échantillon, afin de le débarrasser des particules du papier précédent qui auraient pu s'incruster.



Figure III.3 Polisseuse mécanique (METASERV 2000).

III.5. La microscopie optique

Permet l'observation micrographique sur les surfaces des échantillons subissant un polissage mécanique et une attaque chimique par le réactif Nital HNO₃. Le principal intérêt de cette méthode est de visualiser la microstructure des échantillons, la forme des grains et les différentes phases du matériau visualisé.

III.6. Micro dureté

Cet essai consiste à mesurer l'empreinte faite dans une partie de surface du matériau. La dureté est ainsi déterminée au moyen d'un micro duromètre Zwick/ZHV10 (figure :4) avec un pénétrateur Vickers et en appliquant une charge de 300g HV (0.5) après une attaque chimique au Nital HNO₃ 5% C₂H₅ 95% Méthylique. Cet appareil nous a permis aussi d'avoir la microstructure du matériau avec l'empreinte laissée du pénétrateur.

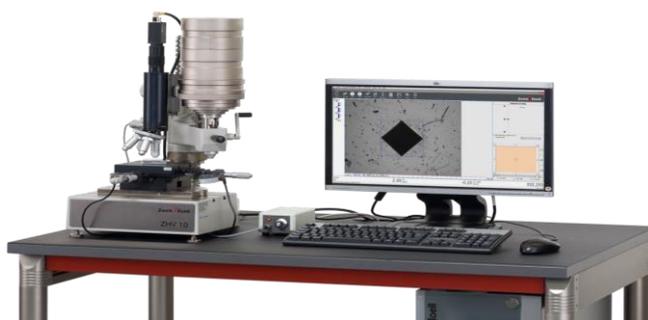


Figure III.4 : machine micro dureté Zwick/ZHV10

III.7. Diffraction aux rayons X

Pour distinguer les phases présentes dans nos échantillons, la diffraction à rayon X nous a permis leur identification. A savoir la diffraction des rayons X consiste à appliquer un rayonnement de la longueur d'onde des rayons X ($0.1 < \lambda < 10nm$) sur un échantillon argileux orienté ou non. Le rayonnement pénètre le cristal, il y a l'absorption d'une partie d'énergie et excitation des atomes avec émissions de radiations dans les toutes directions émises par des

plans atomiques qui sont en phase vont engendrer un faisceau cohérent qui pourra être détecté.



Figure III.5: diffractomètre (DRX).

Chapitre IV

Résultats

Et

Discussions

Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les principaux résultats en l'occurrence l'influence de la température d'austénitisation (1000, 1025 et 1050°C) de l'ensemble des échantillons préparés suivi des traitements de revenu (200, 400 et 600°C) sur les propriétés microstructurales et structurales et les propriétés mécaniques (dureté caractérisée par essais de dureté Vickers).

IV.1. Analyses microstructurales au microscope optique (MO)

La figure suivante (1) illustre la microstructure de l'échantillon brut qui n'a subi aucun traitement thermique. On constate la présence des carbures de type M_7C_3 et de la ferrite.[15]

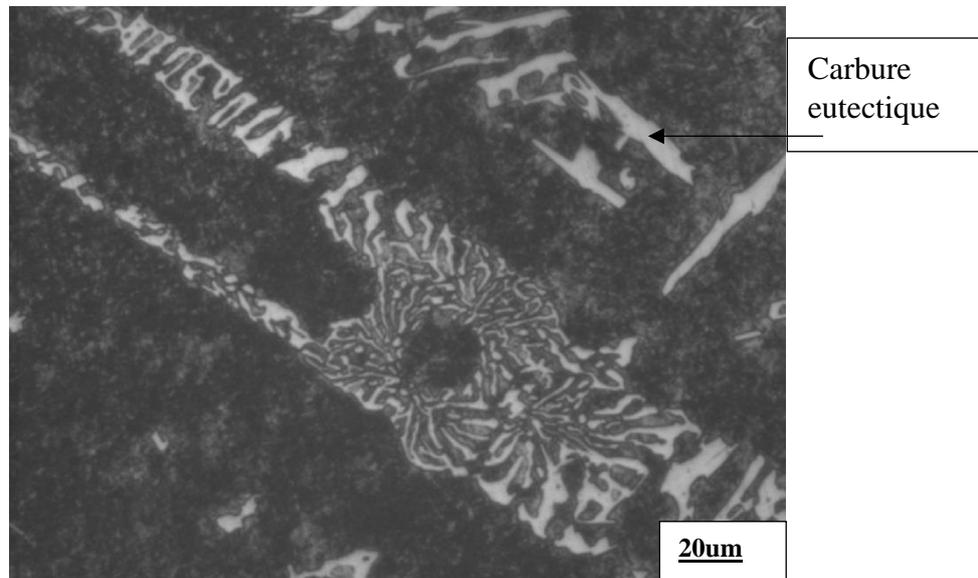


Figure IV.1: l'image micrographique d'un échantillon (brut) fonte alliée au chrome.

Dans ce qui suit, on présentera les figures montrant l'évolution de la microstructure de notre boulet de broyage (fonte alliée au chrome) en fonction des différentes températures d'austénitisation (température de trempe) avec les différentes températures de revenu.

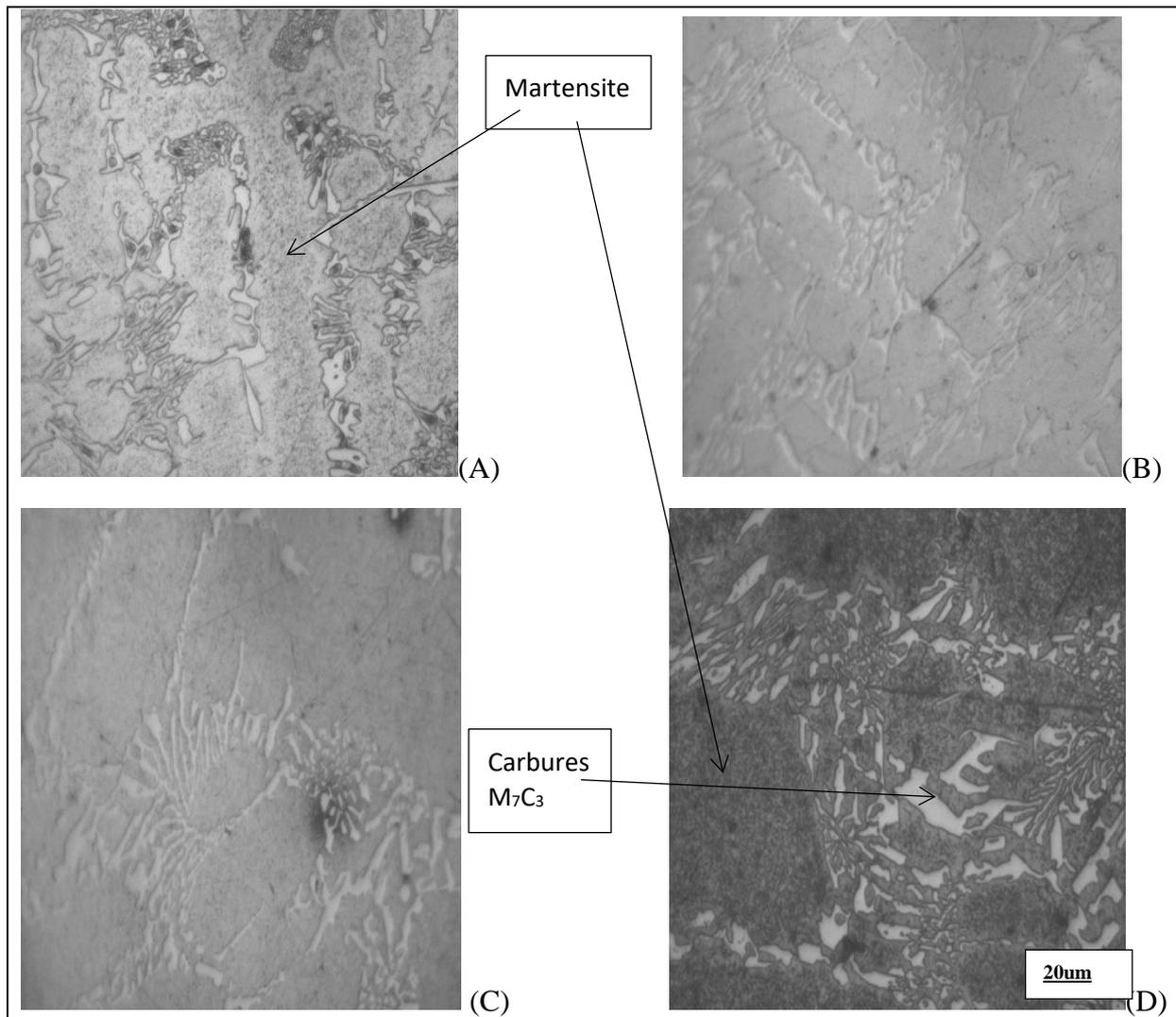


Figure IV.2: micrographie du boulet traité à 1000°C avec (A) : sans revenu, (B) revenu 200°C, (C) revenu 400°C, (D) revenu 600°C. _____

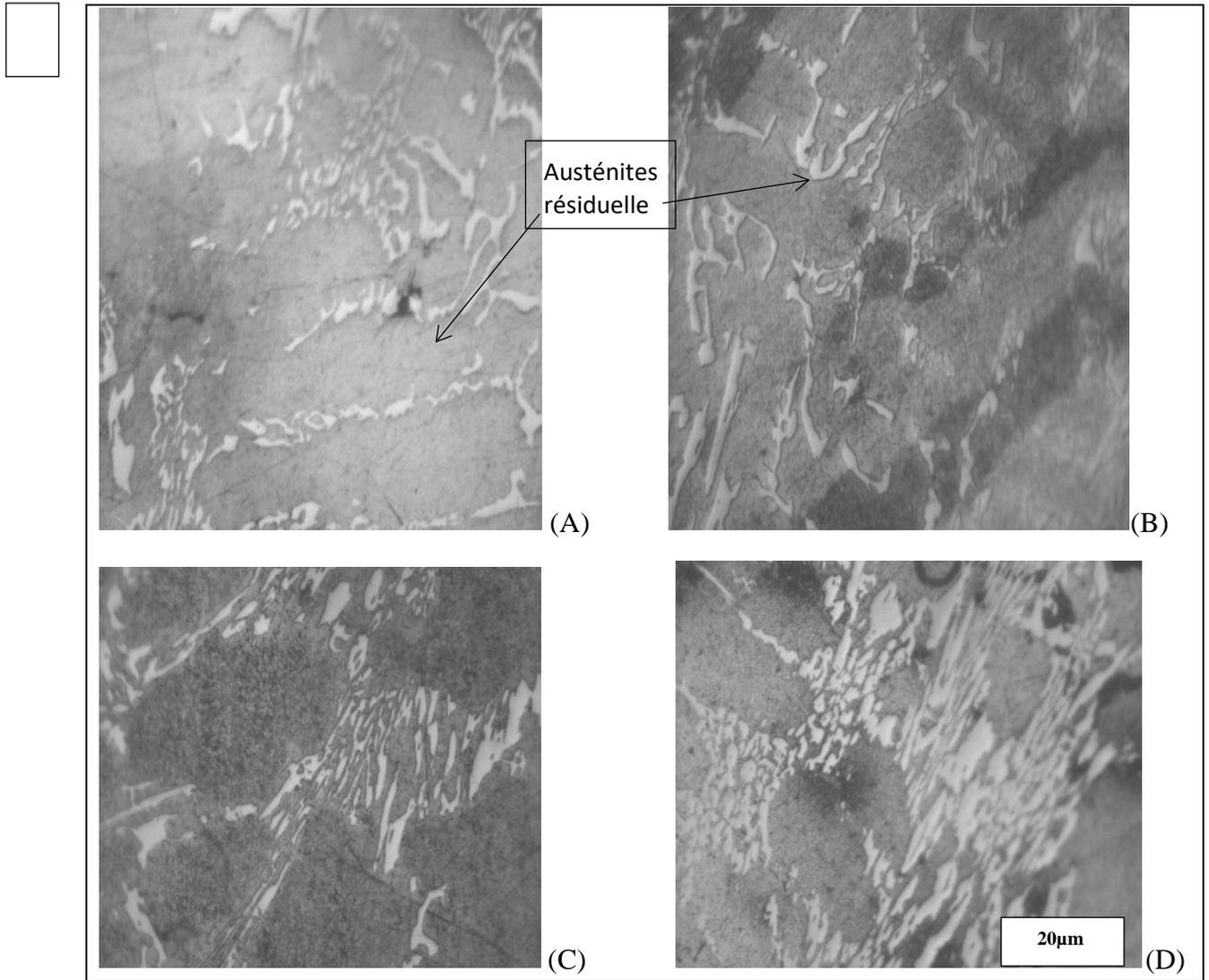


Figure IV.3 : micrographie du boulet traité à 1025°C avec (A) sans revenu, (B) revenu 200°C, (C) revenu 400°C et (D) revenu 600°C.

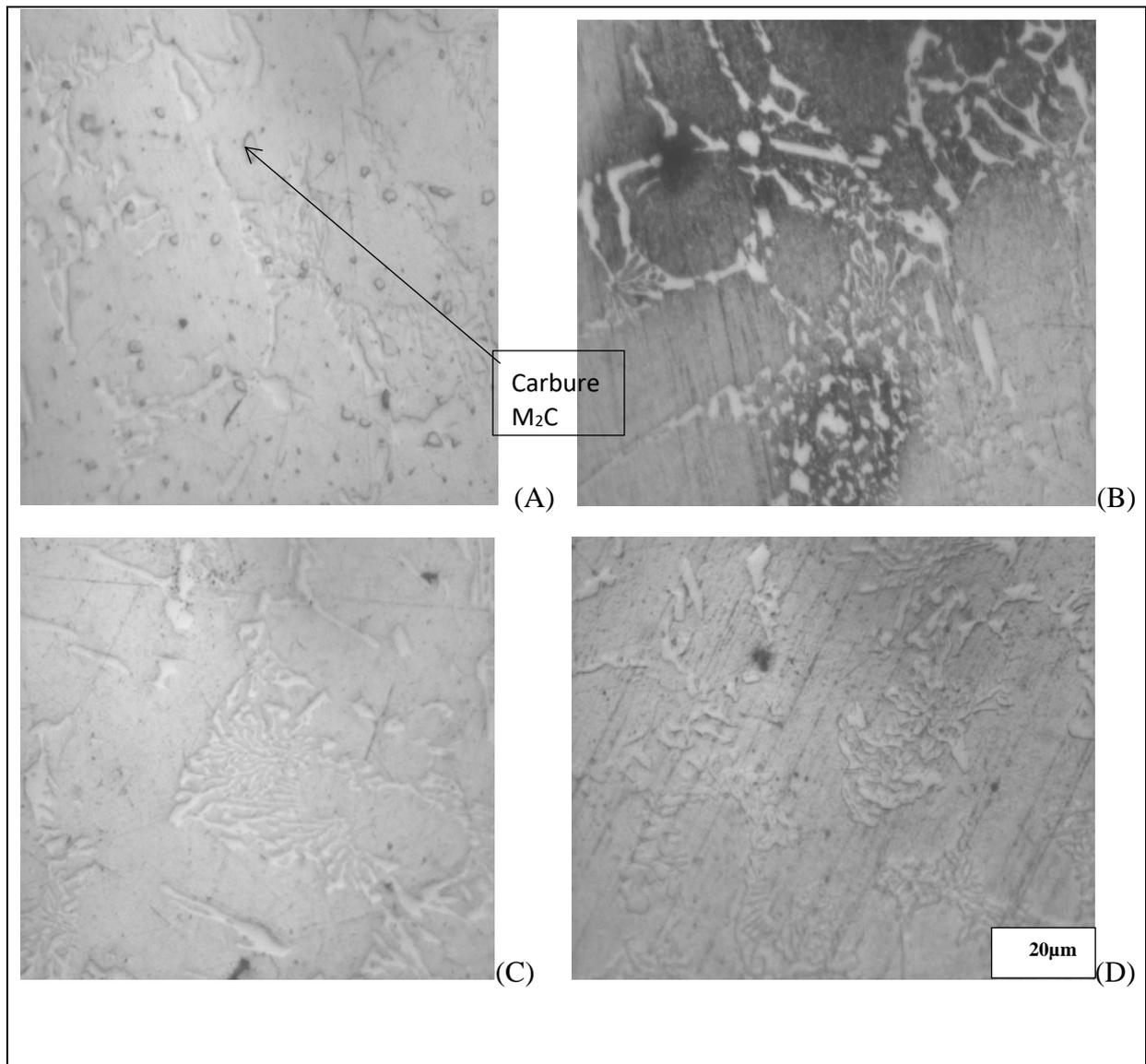


Figure IV.4 : micrographie du boulet traité à 1050°C avec (A) sans revenu, (B) revenu 200°C, (C) revenu 400°C et (D) revenu 600°C.

Les micrographies des figures font apparaître clairement un réseau continu de carbure eutectique $[(Cr, Fe)_7C_3, (Cr, Fe)_2C]$ et une matrice de couleur sombre qui s'apparente à une martensite. Des zones plus claires en faible proportions d'austénite résiduelle. Les micrographies montrent aussi la présence de fines précipitations sous forme de taches noires désordonnés dans la matrice.

IV.2. Diffraction X du boulet traité

Les figures ci-dessus représentent les spectres de diffraction de tous les échantillons traités. Pour chaque échantillon les intensités des pics élevés correspondant à la martensite tandis que des intensités de pics moins importants correspondent à ceux de l'austénite résiduelle on constate la présence des carbures primaires de types $(Cr, Fe)_7C_3$ et $(Cr, Fe)_2C$.

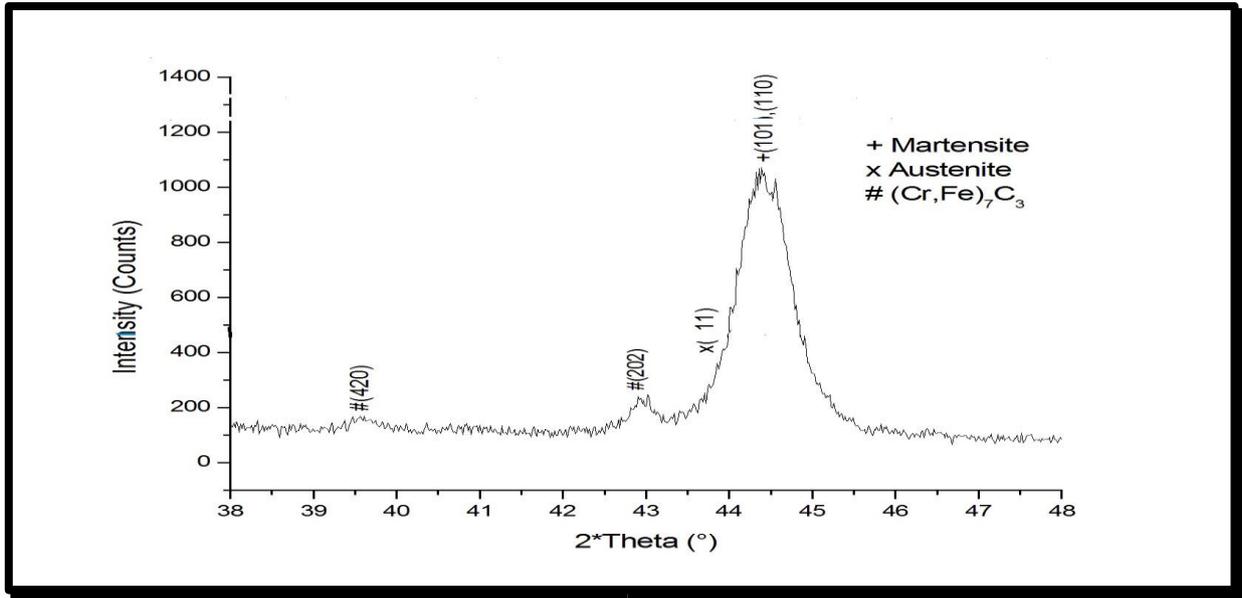


Figure IV.5 : spectre de diffraction X d'échantillons traité à la température d'austénitisation de 1000 °C avec revenu à 200°C.

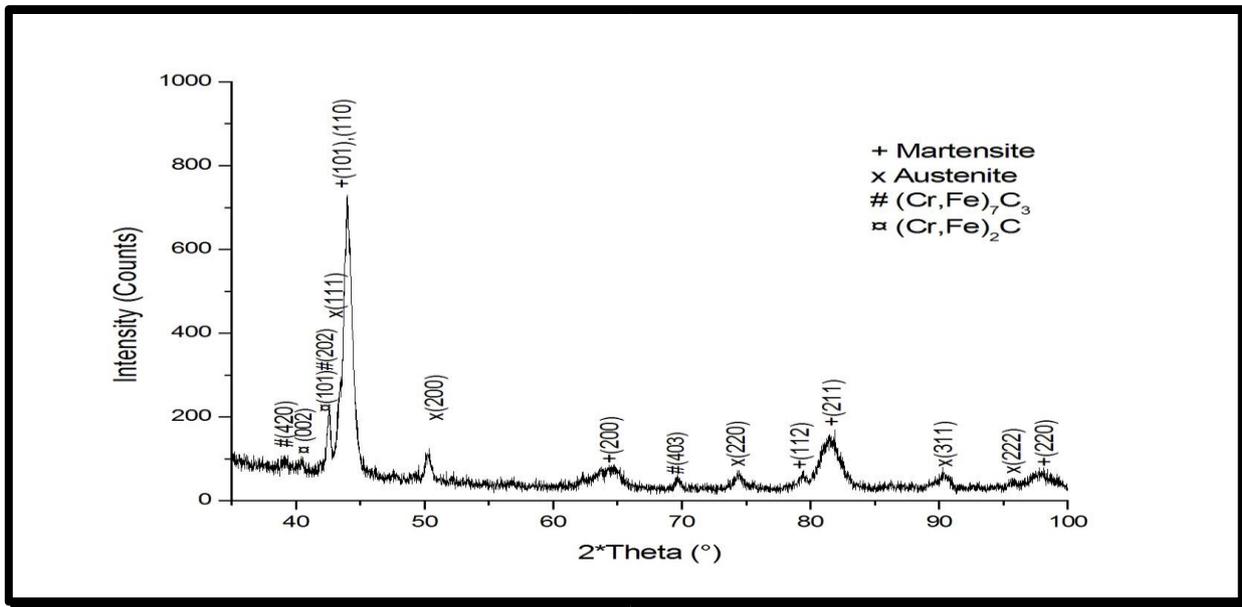


Figure IV.6 : spectre de diffraction X d'échantillon traité a température austénitisation 1000°C avec revenu de 400°C.

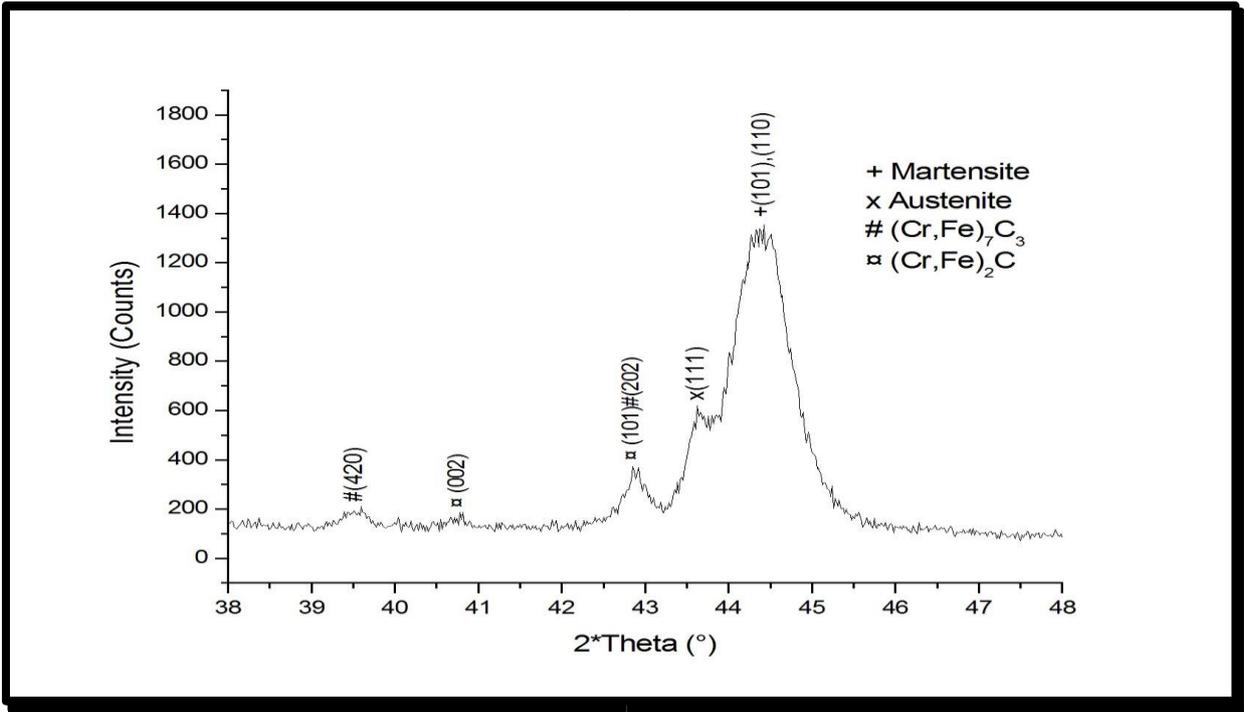


Figure IV.7 : spectre de diffraction X d'échantillon traité à température austénitisation 1000°C avec un revenu de 600°C.

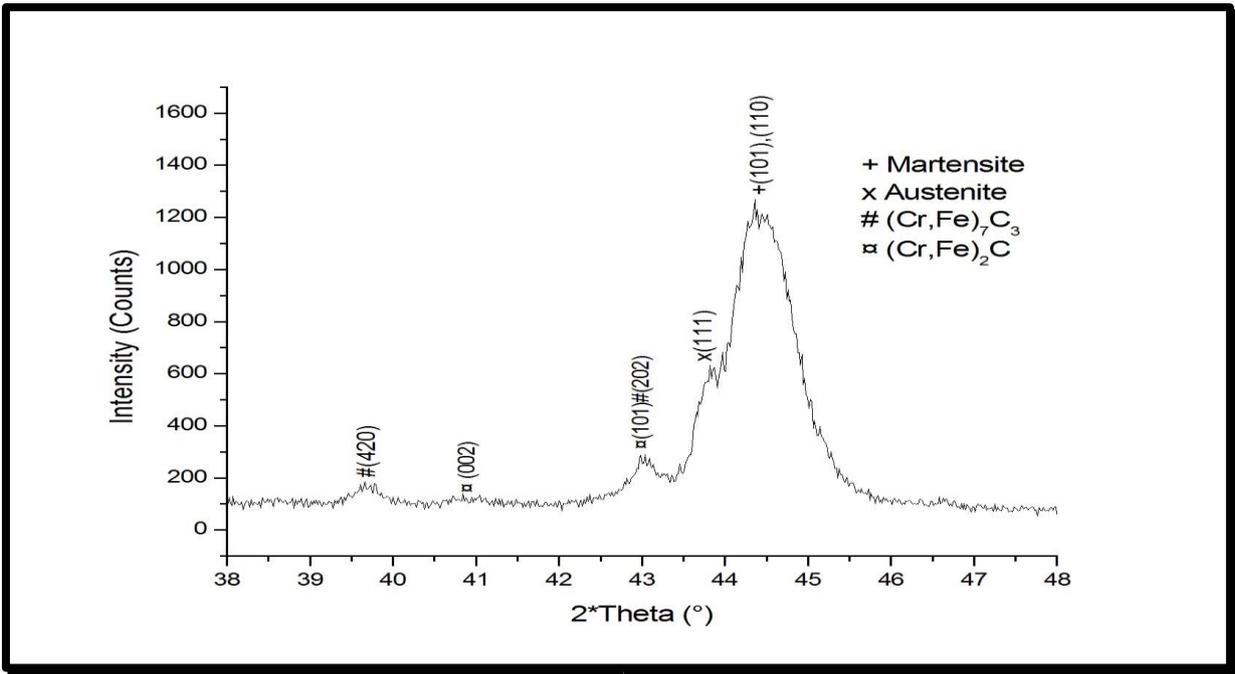


Figure IV.8 : spectre de diffraction X d'échantillon traité à température austénitisation 1025°C avec un revenu de 400°C.

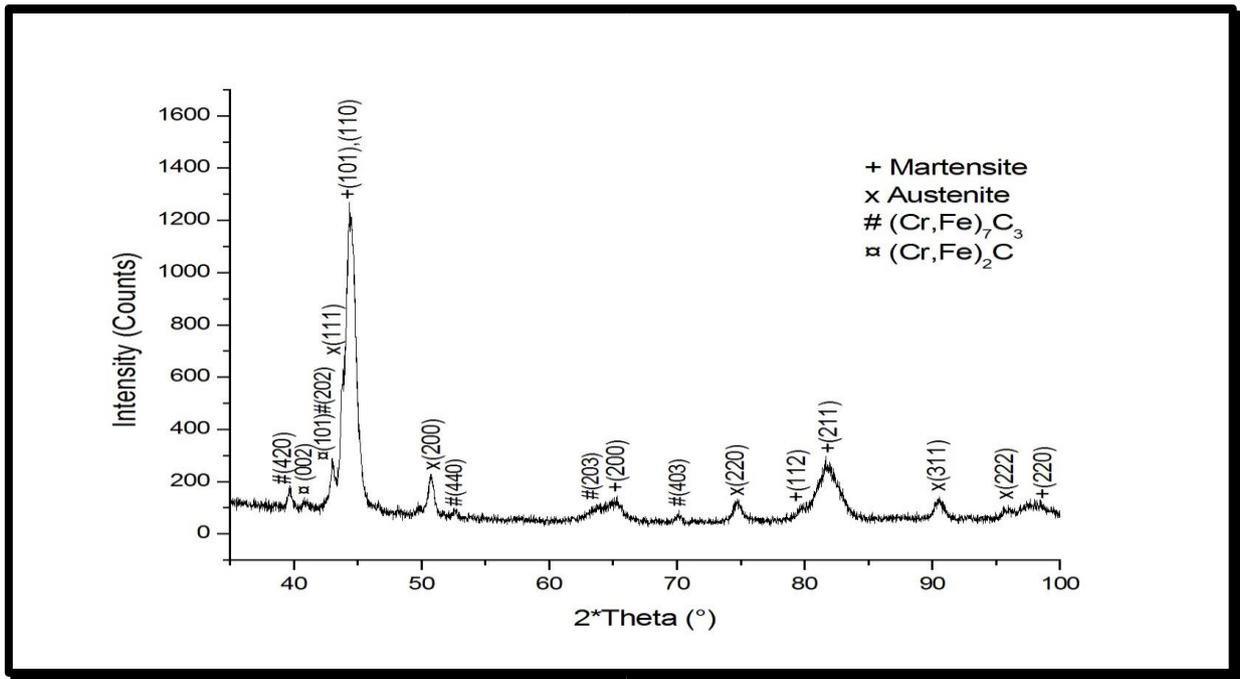


Figure IV.9 : spectre de diffraction X d'échantillon traité à température austénitisation 1025°C avec un revenu de 600°C.

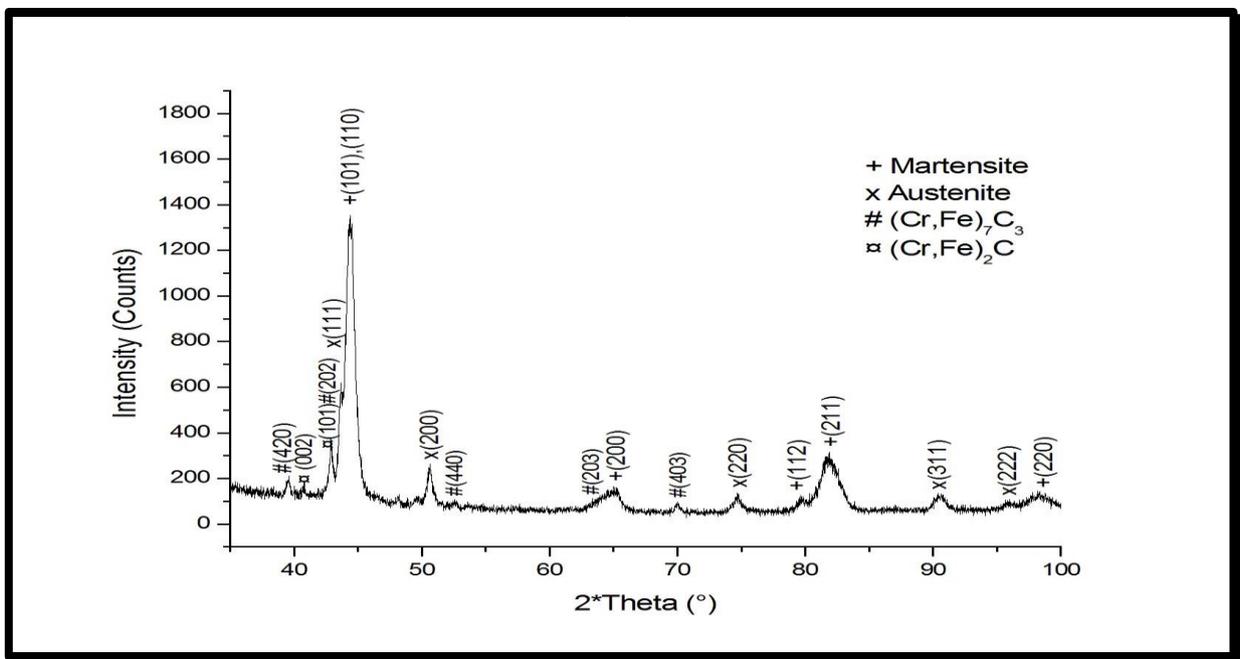


Figure IV.10 : spectre de diffraction X d'échantillon traité à température austénitisation 1050°C avec un revenu de 400°C.

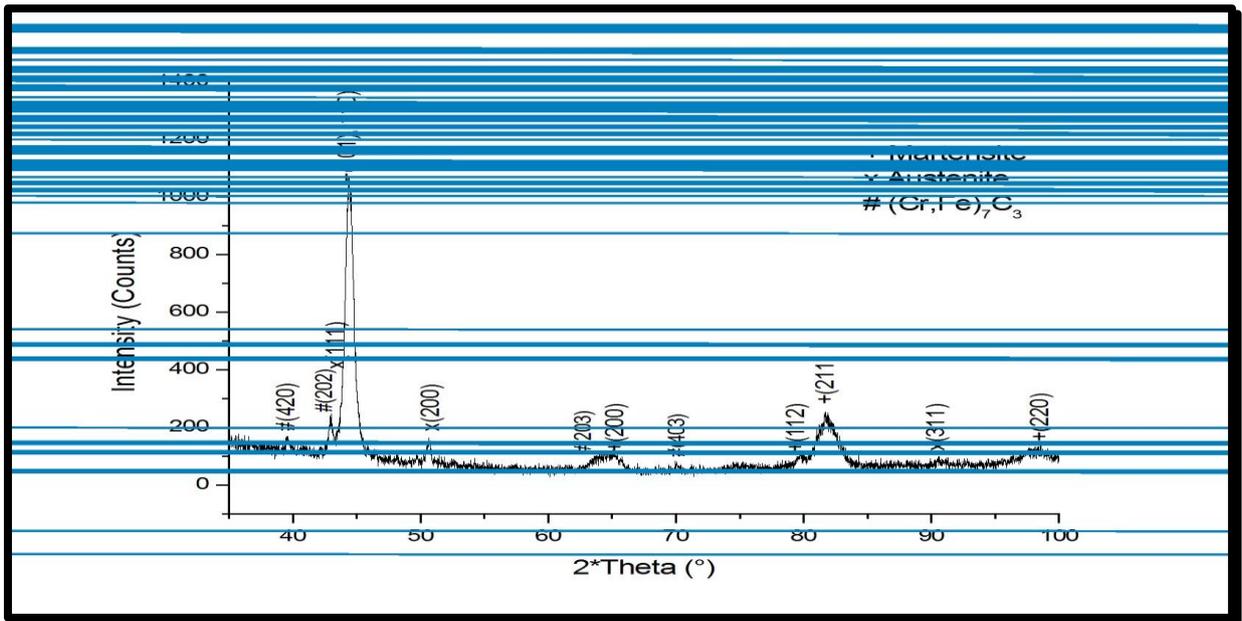


Figure IV.11: spectre de diffraction X d'échantillon traité à température austénitisation 1050°C avec un revenu de 600°C.

IV.3. Essai de la micro dureté

La figures ci-dessus représente un exemple de la micrographie de l'empreinte Les valeurs obtenues de la micro-dureté dureté type Vickers avec une charge de 500g résultent de la moyenne arithmétique de trois essais sont illustrées dans tableau IV.1.

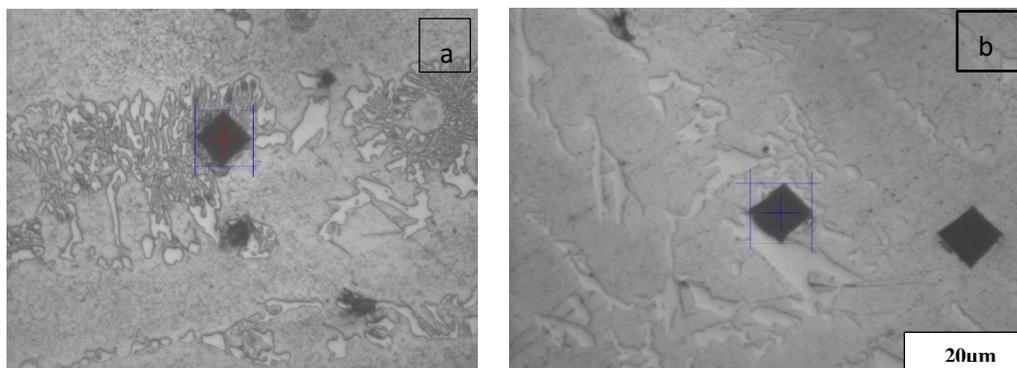


Figure IV.12 : image de micro-dureté du boulet traité pendant 1h :

a)1000°C sans revenu, b) 1050°C sans revenu.

Tableau IV.1. Valeurs de micro dureté (HV) des échantillons traités à différentes Températures de trempe et températures de revenus.

Température d'austénitisations (C°)	Revenu (C°)	Essai microdurete1 (HV)	Essai microdurete2 (HV)	Essai microdurete3 (HV)	Moyen des 3 essais (HV)
1000	/	989	901	915	935
1000	200	804	906	840	850
1000	400	659	912	787	786
1000	600	622	519	519	553,3
1025	/	920	899	892	903
1025	200	816	781	822	806,33
1025	400	724	589	501	604
1025	600	499	564	461	508
1050	/	834	964	906	901
1050	200	906	804	846	852
1050	400	798	765	798	787
1050	600	704	719	744	722,33
Echantillon brut	/	369	476	376	407

On calcule le moyen de trois essais de micro dureté (HV) par l'équation suivante :
Moyenne (HV)= (essai1+essai2+essai3) /3

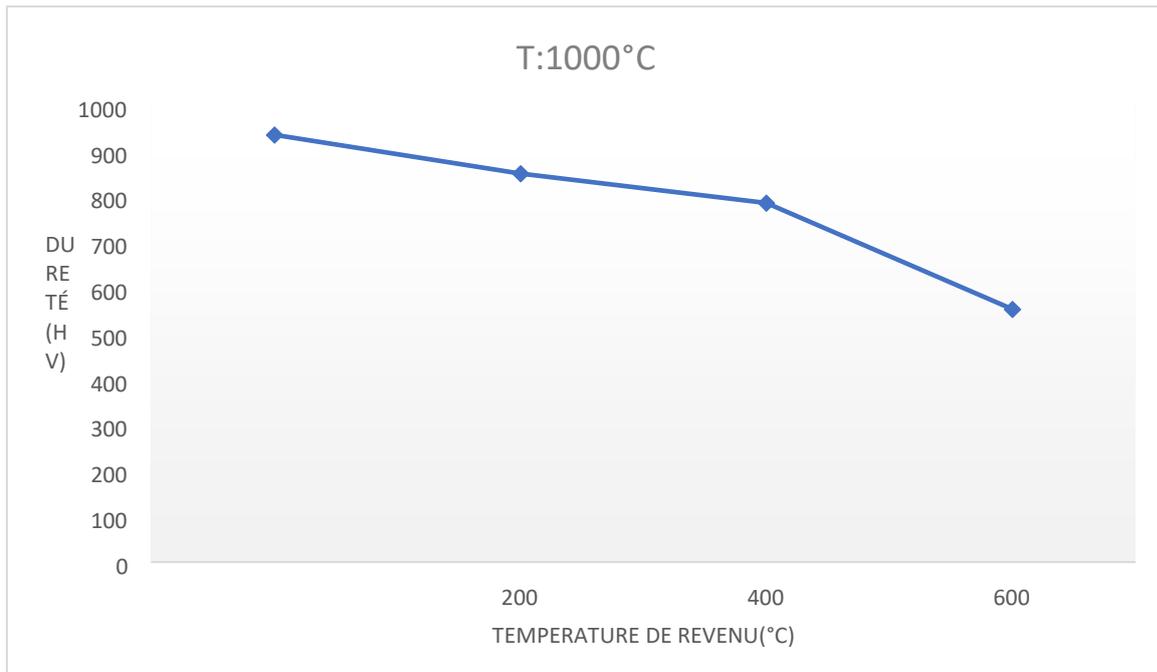


Figure IV.13 : Effet du traitement de revenu sur la micro-dureté à la température d'austénitisation 1000°C.

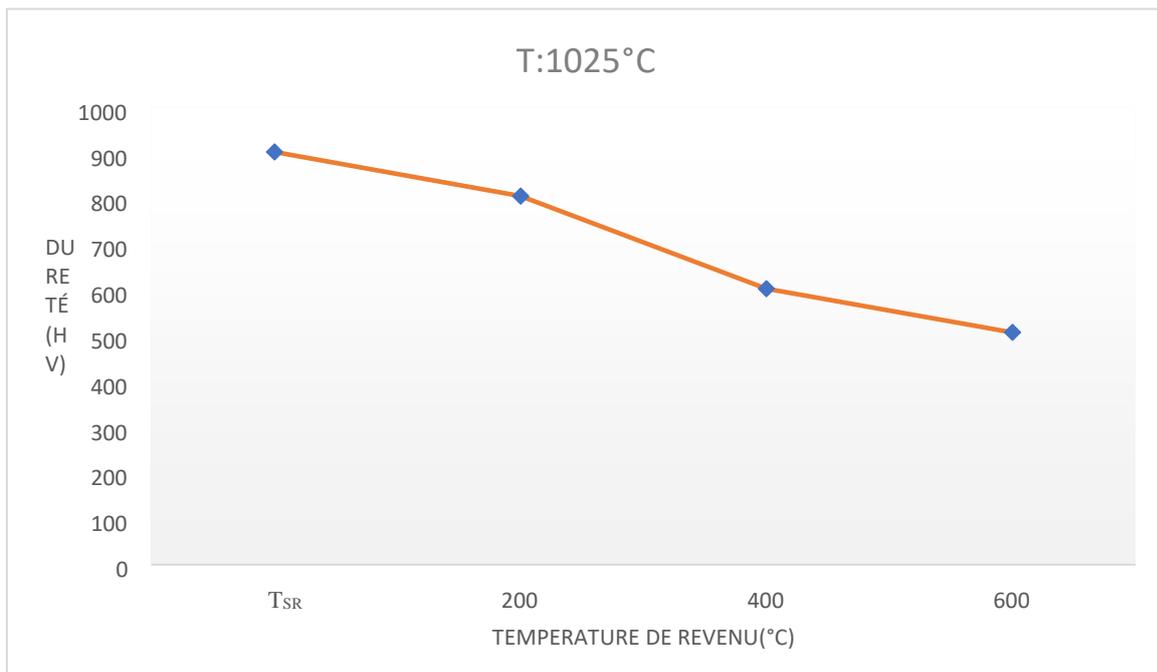


Figure IV.14: Effet du traitement de revenu sur la micro-dureté à la température D'austénitisation 1025°C.

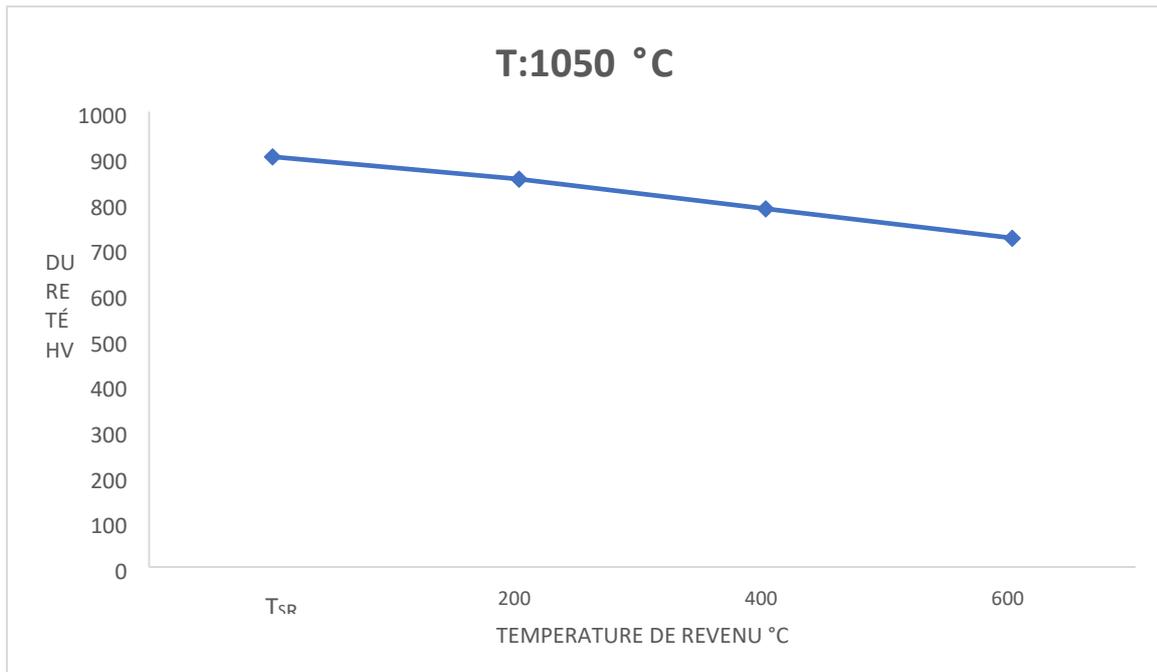


Figure IV.15 : effet du traitement de revenu sur la micro-dureté à la température D'austénitisation 1050°C.

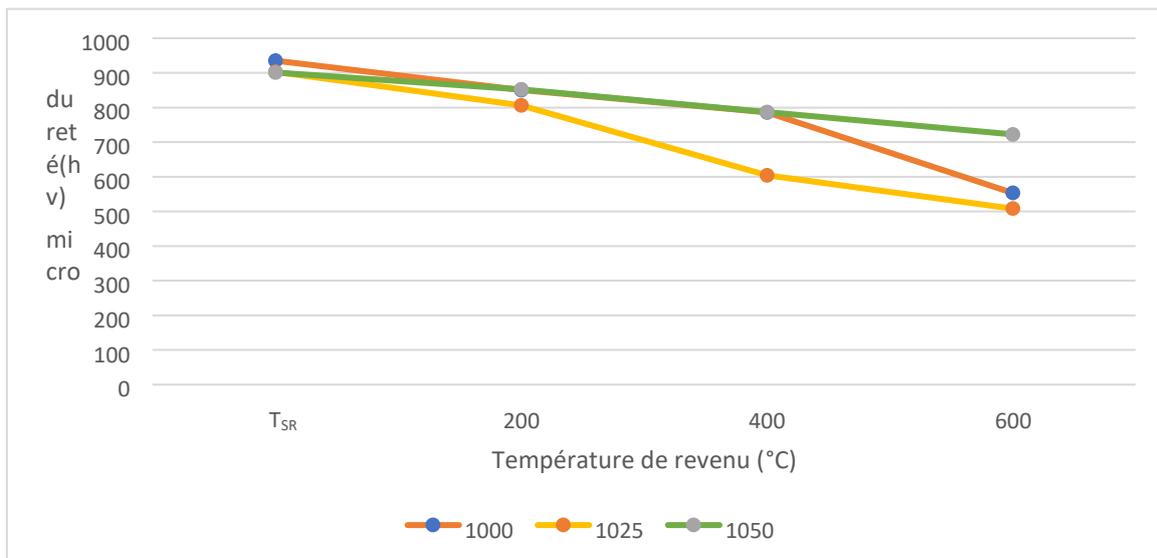


Figure IV.16 : Influence de la température de trempe sur la micro dureté pour différentes températures de revenus.

Conclusion

Dans ce chapitre on a étudié les différentes propriétés structurales et microstructurales (micrographie, DRX) et les propriétés mécaniques (essai micro dureté) en fonction des traitements thermique d'austénitisations (1000°C, 1025°C, 1050°C) suivi de différentes températures de revenus (200°C, 400°C, 600°C).

Les résultats obtenus de la micrographie et de DRX montrent la présence de l'austénite, de la martensite et des carbures de chrome types $(Cr, Fe)_7C_3$ et $(Cr, Fe)_2C$

Les valeurs des micro-duretés sont plus élevées pour la température d'austénitisation 1050°C et cela pour toutes les températures de revenu dû à la précipitation du carbure primaire.

Au-delà température de revenu à 400°C on ne constate que les valeurs de la dureté ne fait que de diminuer. A la température de revenu à 600°C la dureté obtenue (508HV) représente la plus faible valeur enregistrée durant tous les cycles thermiques.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons apporté plus de compréhension sur les boulets de broyage fabriqué avec une fonte fortement alliée au chrome (9 à 13 % Cr) et utiliser dans l'industrie minières tels que fabrication de ciment.

Dans notre étude, on est arrivé à observer et suivre l'évolution de l'influence de traitement thermique sur les comportements structurales, microstructurales et les propriétés mécaniques de la fonte alliées au chrome.

D'après les résultats et de la caractérisation structurale, microstructurale réalisées par la micrographie et la diffraction X(DRX) et les résultats de la micro dureté de tous les échantillons ayant subi le cycle de traitement thermique avec différentes températures d'austénitisation (1000, 1025, 1050°C) suivi de différentes températures de revenu (200, 400, 600 °C) pendant un temps de maintien d'une heure, on a conclu que :

- La température d'austénitisation et le revenu, trempe à l'eau influent sur les propriétés mécaniques de la fonte alliée au chrome.
- Les résultats obtenus de la micrographie et de DRX montrent la présence de l'austénite, de la martensite et des carbures de chrome types $(Cr, Fe)_7C_3$ et $(Cr, Fe)_2C$.
- On remarque la présence de carbure de types $(Cr, Fe)_7C_3$ pour tous les échantillons traités et la présence de carbure type $(Cr, Fe)_2C$ pour les tous échantillons traités sauf pour les échantillons traités à 1000°C revenu 200°C et 1050°C revenu 600°C.
- On remarque que les échantillons traités sans revenu possèdent une dureté (HV) plus élevé que celle des échantillons traités avec revenu, et que la dureté de l'échantillon traité à 1000°C sans revenu est la plus élevée.
- La dureté des échantillons traités avec revenue diminue est lié peut-être aux précipitations des carbures fins type $(Cr, Fe)_2C$.

Nos travaux effectués sur ces échantillons nous ont permis de choisir la température de trempe et d'un revenu meilleur pour améliorer les propriétés mécaniques du boulet. Enfin Ce qui est souhaitable de faire est de déterminer le taux de chacune des phases.

Références

Bibliographiques

Bibliographie

- [1] A. Hadji, *Effet du molybdène et du manganèse sur le comportement à l'usure d'une fonte au chrome traitée*. Thèse de doctorat, université bordj Badji mokhtar, 2010
- [2] K. Bouhamla, *évolution structurale des fontes au chrome alliées, thèse doctorat, université Annaba*, 2009.
- [3] M. V. –, *La pratique des ciments, mortiers et bétons – Caractéristiques des liants et des bétons, mise en œuvre des coulis et mortiers - Tome 1 - Edition2 – Collection Moniteur*, 1989.
- [4] K. Bouhamla1, *Effet du niobium sur la résistance à l'usure d'une fonte au chrome traitée thermiquement*, Annaba, 2011.
- [5] L. Saib, *Etude bibliographique sur les aciers au manganèse destinés à la fabrication des mâchoires pour concasseurs. Mémoire de master : université de Bejaïa*, 2019/2020.
- [6] Z.amy, *Caractérisation de l'acier inoxydable X5CrNi18-10 et étude de son oxydation à température*. Thèse doctorat, tizi Ouzou, 2013.
- [7] B. Semlalli, *Caractérisation et modélisation spatiale de la broyabilité des massifs rocheux : cas de la mine Troilus*, QUÉBEC, 2007.
- [8] S, Bakhouché - *Recherche bibliographique sur les propriétés mécaniques d'une fonte fortement alliée au chrome utilisée dans l'industrie minière, mémoire master*, Bejaïa, 2020.
- [9] N. Fadel, *Étude, Elaboration Et Caractérisation D'une Fonte GS Modifiée En Vue De Substituer Des Pièces En Aciers Moulé*, université houari Boumediene, 2012.
- [10] S. Aissat., *Etude des effets de la sévérité du milieu de trempe sur les propriétés mécaniques des boulets de broyage, thèse doctorat, université Annaba (2005)*.
- [11] É. Boucard., *Étude de l'influence de l'état métallurgique de l'austénite sur la microstructure de transformation de phase dans les aciers bas carbone*. Université de Lorraine, 2014.
- [12] C. Vergne, *"Analyse de l'influence des oxydes dans le frottement d'une fonte pour outil de travail à chaud"*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, thèse de doctorat, 2001.
- [13] B. Beldjoudi / *influence des traitement thermiques de revenus sur les propriétés d'une fortement alliées au chrome*, mémoire de master, univ Bejaïa, 2016/2017.
- [14] H. Maouche, *Etude de l'influence des éléments carburières sur la structure et les propriétés des fontes au chrome*, mémoire de master, univ Annaba, 2005.
- [15] A. sad-eddine, « optimisation structurale, microstructurale et mécanique d'une fonte hautement alliée au chrome utilisée dans la fabrication des boulets de broyage, », thèse doctorat, univ bejaia, 2011/2012.
- [16] S. Ziouel, « influence des traitements thermiques sur les propriétés mécaniques d'un acier au manganèse, », mémoire de master, Bejaia, 2018/2019.

Résumé

Les fontes alliées au chrome sont des matériaux durs utilisés souvent dans l'industrie minière, tels que la fabrication du ciment. La dureté élevée de ces matériaux assure une bonne résistance à l'usure mais fragilise l'élément ainsi fabriqué.

Dans notre étude, on a effectué une série de traitements thermiques d'austénitisation et de revenu permettant ainsi d'avoir des propriétés optimales du matériau.

De ce fait, dans un premier temps on a utilisé un boulet de broyage fourni par la fonderie de Tiaret, après l'usinage de boulet, on est arrivé à préparer des petits échantillons d'épaisseurs de 4mm et d'une surface qui ne dépasse pas 1cm².

La microscopie optique et électronique à balayage (MO) et la diffraction au rayon X (DRX) ont été utilisées pour caractériser les microstructures obtenues. La micro dureté nous a permis de déterminer les caractéristiques mécaniques des fontes alliées au chrome.

Les résultats obtenus de la micrographie et de DRX montrent la présence de l'austénite, de la martensite et des carbures de chrome types (Cr, Fe)₇C₃ et (Cr, Fe)₂C dans les fontes alliées au chrome.

abstract

Chromium-alloyed cast irons are hard materials often used in the mining industry, such as cement manufacturing. The high hardness of these materials ensures good wear resistance but makes the element brittle.

In our study, a series of austenitization and tempering heat treatments were carried out to obtain optimal material properties.

Therefore, in a first step, we used a grinding ball supplied by the Tiaret foundry, and after machining the ball, we were able to prepare small samples with a thickness of 4mm and a surface area not exceeding 1cm².

Optical and scanning electron microscopy (OM) and X-ray diffraction (XRD) were used to characterize the microstructures obtained. The microhardness allowed us to determine the mechanical characteristics of the chromium alloyed cast iron.

الملخص

فالإيرونيات المصبوغة بالكروم هي مواد صلبة كثيرا ما تستخدم في صناعة التعدين ، مثل صناعة الأسمنت. الصلابة العالية لهذه المواد تضمن مقاومة جيدة للبلل ولكن يضعف العنصر المصنوع لذلك. في دراستنا ، تم إجراء سلسلة من المعالجات الحرارية للتثبيت والإبراد ، مما يسمح بأن يكون لها الخصائص المثلى من المادة. ونتيجة لذلك ، تم لأول مرة استخدام كرة سحق زودها مسبار تياريت ، بعد رشاشة الكرة ، تم إعداد عينات صغيرة من سمك 4 ملم وسطح لا يتجاوز 1 سم مربع. واستخدمت عمليات المسح لوصف الهياكل الدقيقة الناتجة عن ذلك. الصلابة الدقيقة (DRX) والتصوير بالأشعة السينية (MO) الضوئي والالكتروني المجهريسمحت لنا لتحديد الخصائص الميكانيكية للحديد المصبوب جنباً إلى جنب مع الكروم. وتظهر النتائج التي تم الحصول عليها من البيانات

(Cr, Fe) 7C وجود أنواع من كربيدات الأوستينيت والمارتنسيت والكروم (DRX) المجهرية والرسوم المجهرية

