



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département de chimie industrielle

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Génie des procédés
Spécialité : Génie des procédés de l'environnement

Présenté et soutenu par :
MOKRANI Kenza

lundi 8 juillet 2019

Microstructure et caractérisation d'un acier BS2

Jury :

Mlle ISMAIL Dalila	MAA	Université de Biskra	Président
Mme HAMDY Ines	MCA	Université de Biskra	Encadreur
Mme DIAFI Malika	MCA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2018 – 2019

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Nous tenons à remercier le bon dieu pour le courage et la patience qu'il nous a offert pour aboutir à la réalisation de ce mémoire.

*Mes sincères et profonds remerciements pour mon enseignante et mon encadreur Madame **HAMDI Ines** qui n'a épargné aucun effort pour me diriger durant la réalisation de ce travail, je lui suis très reconnaissant pour la patience dont il a fait preuve le long de ce projet.*

*Nos respectueuses salutations et remerciements aux membres du jury qui auront l'honneur d'apprécier et de juger ce travail, à madame **ISMIAL Dalila** et madame **DIABI Malika**.*

Enfin, Je tiens également à remercier aussi tous mes enseignants et toute l'administration de département de chimie industriel ainsi que toutes les personnes qui m'a aidé durant la période de mon cursus.

Merci à tous.

MOKRANI KENZA

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mon cœur et m'on âme, ma lune dans les nuits, mon bonheur, mon amour et ma joie qui s'est sacrifié pour me donner l'espoir dans la vie, a celui qui m'a donne l'amour sans limite, à vous ma chère père, je t'aime.

Mon cher mère, celui qui m'a toujours soutenu, encouragé aidé, aimée, et qui m'a témoigné la confiance, je vous estime fort et je vous aime.

Mes sœurs : Leila, Hadda, Nacira, Nadia, Bariza, Latifa.

Mon frère : Omar, Chafik,

Femme de mon frère : Mona, Sara.

Famille canetons : Iness, Sajida, Alia, Chiama, Amira, Haitham, Mohamed Rayan, AbdRazak, NourAlhouda, Anis, Radia.

Toute ma famille.

Mes chères amies : Salwa, Siham, Iman, Mabrouk, Afaf, Nadjet.

Tous mes collègues.

A tous les étudiants de la promotion 2^{ème} master de génie des procédés.

A toute personne qui ma aidée dans ce travail.

Sommaire

Sommaire

Remerciement.....	I
Dédicace	II
Sommaire	III
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	VIII
Introduction générale.....	IX

CHAPITRE I : Généralité sur les aciers

I.1.Introduction.....	2
I.2. définition d'acier	2
I.3. Diagramme fer-carbone	2
I.4.Les différentes phases du système Fer-Carbone.....	5
I.4.1. La ferrite α	5
I.4.2. La ferrite δ	5
I.4.3. L'austénite γ	5
I.4.4. La cémentite (Carbone de fer Fe_3C).....	5
I.4.5. La perlite	5
I.5. Les différentes classes des aciers	6
I.5.1Aciers non alliés et aciers alliés	6
I.5.1.1. Aciers de qualité.....	7
I.5.1.1.1. Aciers de qualité non alliés	7
I.5.1.1.2. Aciers de qualité alliés	7
I.5.1.2. Aciers spéciaux.....	8
I.5.1.2.1. Aciers spéciaux non alliés	8
I.5.1.2.2. Aciers spéciaux alliés	9
I.5.1.3. Aciers inoxydables	9
I.5.2.Les aciers au carbone	9
I.5.2.1.Les aciers à faible teneur de carbone ($\%C < 0.25\%$)	10
I.5.2.2.Les aciers à moyenne teneur de carbone (0.25% à 0.6% de C)	10
I.5.2.3.Les aciers à forte teneur de carbone (0.6% à 1.4% de C)	10
I.6. Caractérisation des aciers.....	10

Sommaire

I.6.1. Caractéristiques physiques	11
I.6.2. Caractéristiques mécaniques	11
I.6.3. Caractéristiques chimiques.....	12
I.7. Composition chimique des aciers	12
I.8. Propriétés chimiques, physiques et mécaniques du fer.....	13
I.9. Symbolisation des aciers.....	13
I.10. Influence spécifique des éléments d'addition	16
I.10.1. Le carbone	16
I.10.2. Le chrome.....	16
I.10.3. Le nickel	17
I.10.4. Le molybdène.....	17
I.10.5. Le silicium.....	17
I.10.6. Le niobium	18
I.10.7. Le titane.....	18
I.10.8. Le manganèse.....	18
I.10.9. Le cuivre.....	18
I.10.10. Le soufre.....	18
I.10.11. Le zirconium	18
I.11. Transformation de phase dans les aciers.....	19
I.11.1. transformation au cours de chauffage (Austénisation).....	19
I.11.2. Transformation au cours de refroidissement.....	19
I.11.2.1. Transformation par diffusion	20
I.11.2.2. transformation par cisaillement ou transformation martensitique.....	20
I.11.2.3. Transformation intermédiaires	20

CHAPITRE II : traitement thermique des aciers

II.1. Introduction	22
II.2. Traitements thermiques des aciers.....	22
II.3. Les types des traitements thermiques des aciers	22
II.3.1. Trempe	23
II. 3.1.1. Définition	23
II.3.1.2. Les types de trempe	23
II.3.1.2.1. Trempe martensitique	23

Sommaire

II.3.1.2.2. Trempe bainitique	23
II.3.1.2.3. Trempe d'aciers austénitique ou hypertrempe	23
II.3.1.3. Cycle de trempe	23
II.3.2. Le Revenu	24
II.3.2.1. Principe et But de Revenu	24
II.3.2.2. Différents types de revenu	25
II.3.2.2.1. Revenu de relaxation ou de détente	25
II.3.2.2.2. Revenu de structure ou classique	25
II.3.2.2.3. Revenu de durcissement	26
II.3.3. Recuit	26
II.3.3.1. Le but de recuit	26
II.3.3.2. Les principe de recuit	27
II.3.3.2.1. Chauffage	27
II.3.3.2.2. Maintenu	27
II.3.3.2.3. Refroidissement	27
II.3.3.3. Les types de recuit	27
II.3.3.3.1. Recuit complet	27
II.3.3.3.2. Recuit d'adoucissement	28
II.3.3.3.3. Recuit de coalescenc	28
II.3.3.3.4. Recuit d'homogénéisation	28
II.3.3.3.5. Recuit de normalisation	28
II.3.3.3.6. Recuit de détente ou de stabilisation	28
II.3.3.3.7. Recuit de recristallisation ou de restauration	29
II.4. Effet des traitements thermiques	29
II.5. Le but de traitement thermique	29
II.6. Cycle de traitement thermique	30

CHAPITRE III : Méthodes de caractérisation

III.1 Introduction	33
III.2. Composition chimique de SB2	33
III.3. Observations microscopiques et essais de microduret	33
III.3.1 Observation microscopique	33
III.3.1.a. Polissage mécanique	33
III.3.1.b. Attaque chimique	34

Sommaire

III.3.1.c. Microscopie optique	35
III.3.2. Microduremètre	35
III.4. Traitement thermique	36
III.5. Caractérisations structurales	37
III.5.1. Diffraction des rayons X	37
<i>CHAPITRE IV : Résultats et interprétation</i>	
VI.1. Etude micrographique	41
IV.1.1. Microstructure du métal de base à l'état brut	41
IV.1.2. Après traitement thermique	41
IV.1.2.1. Etat de l'échantillon traité à T=500°C	41
IV.1.2.2. Etat de l'échantillon traité à T=700°C	42
IV.1.2.3. Etat de l'échantillon traité à T=900°C	43
IV.2. Mesure de la microdureté	44
IV.3. Caractérisation des phases par la diffraction des rayons-x	46
IV.3.1. l'échantillon à état brut	46
IV.3.2. l'échantillon d'un acier BS2 après traitement thermique	47
IV.3.3. détermination du paramètre cristallin (a) et la taille de grains	48
IV.3.3. le paramètre cristallin (a=b=c)	48
Conclusion générale	49
Références bibliographique	51

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : Schémas du diagramme d'équilibre Fe-Fe ₃ C	4
Figure I.2: Illustration schématique des principaux constituants du système Fe ₃ -C.....	6
Figure II.3 : Désignation symbolique générale des aciers	15
Figure I.4 : Désignation symbolique des aciers faiblement alliés (sans symbole).....	15
Figure I.5 : Désignation symbolique des aciers des aciers alliés avec au moins un élément de teneur ≥ 5	16
Figure II. 1: Le cycle de la trempe	24
Figure II.2 : Cycle complet (trempe, revenu).....	25
Figure II.3 : Cycle thermique du recuit.....	26
Figure II.4 : Cycles thermiques des différents recuits	29
Figure II.5 : Cycle de traitement thermique.....	31
Figure III.1 : photo d'une polisseuse	34
Figure III.2 : L'échantillon préparé pour le microscope optique	34
Figure III.3 : Microscope optique (Hund).....	35
Figure III.4: Microduremètre de type Hardness.....	36
Figure III.5: four électrique type de Nabertherm D-2804.....	36
Figure III.6: Schéma montrant Le principe de travail du diffractomètre.....	37
Figure III.7: Diffractomètre BRUKER D8 ADVANCE AXS (XRD).....	38
Figure III.8: Illustration d'un pic de diffraction.....	39
Figure IV.1 : Microstructure d'un acier BS2 à l'état brut.....	41
Figure IV.2 : Microstructure d'échantillons traité à T=500°C ; a)30 min, b) 1h.....	42
Figure IV.3 : Microstructure d'échantillon traité à T=700°C	43
Figure IV.4 : Microstructure d'échantillon traité à T=900°C ; a) 30 min, b) 1h	44
Figure IV.5 : La variation des valeurs de HV en fonction de la température.....	45
Figure IV.6 : Spectre de diffracto-gramme des rayons X de l'échantillon BS2 à état brut.....	46
Figure IV.7 : Spectre de diffracto-gramme des rayons X de l'échantillon traité à T=700°C...47	47

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Délimitations entre aciers non alliés et aciers alliés	7
Tableau I.2 : Symbolisation des aciers en fonction du type d'acier utilisé.....	14
Tableau III.1 : composition chimique de BS2	33
Tableau III.1 : Composition du nital et durée de l'attaque chimique	34
Tableau IV.1 : les valeurs de la microdureté	44
Tableau IV.2 : La différence de valeurs de la microdureté pour chaque température.....	45
Tableau IV.3 : Les caractéristique des pics de l'échantillon (état brut).....	47
Tableau IV.4 : Les caractéristiques des pics de l'échantillon traité à T=700°C	47
Tableau IV.5 : Paramètre cristallin	48

Introduction générales

Introduction générale

De tous les alliages métalliques, les aciers sont parmi ceux les plus couramment employés dans les applications industrielles. La grande diversité de leurs nuances et la possibilité de réaliser les traitements thermomécaniques conditionnant les propriétés mécaniques de ces aciers permettent de couvrir une gamme d'applications extrêmement large. Leurs propriétés mécaniques sont étroitement liées à la microstructure de l'alliage, donc à sa composition et aux traitements thermiques appliqués. Enfin, leurs faibles coûts présentent un grand intérêt pour leurs utilisations [1].

Les aciers au carbone sont les plus utilisés dans la l'industrie. Enraison de leur excellents propriétés physique et chimique, la maitrise des techniques de leur élaboration et leur production ils sont largement employés dans les secteurs de l'énergie, comme les plateformes de forage, le transport du pétrole ou du gaz naturel par le biais de gazoducs ou d'oléoducs....etc [2].

L'objectif essentiel de notre travail est l'étude de l'effet du traitement thermique et le temps de maintien sur la microstructure et les propriétés mécaniques de l'acier bs2.

Pour aboutir à notre objectif, on a utilisé trois techniques de caractérisations :

- Microscopie optique.
- Mesure de microdureté
- Diffraction de rayons X.

Après introduction générale, le mémoire est composé de quatre chapitres et termine par une conclusion générale :

- ✓ Le premier chapitre est réservé aux généralités sur les aciers.
- ✓ Le deuxième chapitre : traitement thermique des aciers.
- ✓ Le troisième chapitre : Méthodes de caractérisation.
- ✓ Le quatrième chapitre : résultats et l'interprétation.

Chapitre

I

I.1. Introduction

L'acier joue un rôle très important dans la vie quotidienne des hommes. Il est utilisé dans plusieurs domaines. Il est à l'origine de toutes révolutions scientifiques et industrielles grâce à leurs propriétés [3].

I.2. définition d'acier

L'acier est un alliage fer-carbone contenant moins de 2 % de carbone, et d'autres éléments. Le fer contenu dans l'acier provient soit de minerai, soit du recyclage. L'acier produit en France, comme dans les autres pays développés, contient en moyenne un peu plus de la moitié de fer recyclé. Dans les pays émergents tels que le Brésil ou la Chine, l'acier est produit majoritairement à partir de minerai puisqu'il n'y a pas encore suffisamment de recyclage.

Pour transformer la fonte en acier, il suffit de la débarrasser de son carbone excédentaire en le brûlant avec de l'oxygène. La composition chimique de l'acier liquide obtenu à partir de la fonte ou par fusion de fer recyclé doit ensuite être ajustée en fonction des propriétés de mise en œuvre et d'utilisation souhaitées. L'acier liquide est ensuite solidifié, généralement sous une forme assez massive, puis mis en forme habituellement par laminage à chaud et éventuellement par laminage à froid pour les tôles les plus minces. Les tôles minces peuvent être revêtues d'une couche très fine d'un autre métal, par exemple d'étain pour le fer-blanc ou de zinc pour les tôles galvanisées, voire enduites d'un revêtement organique (vernis, peinture...) avant d'être livrées [4].

I.3. Diagramme fer-carbone

Le système fer-carbone est théoriquement décrit par le diagramme fer-carbone dans lequel le carbone, insoluble dans le fer α précipiterait sous forme de graphite. Mais, dans le domaine des aciers ($C < 2,11$ %, environ) non alliés, l'expérience révèle qu'il n'en est pas ainsi et que le carbone en excès précipite sous la forme du carbure de fer Fe_3C appelé cémentite. Il est donc alors normal de considérer le diagramme d'équilibre fer-cémentite dont la figure I.1 présente un schéma.

En dehors des domaines de solidification, ce diagramme fer-cémentite fait apparaître :

— sur l'axe des ordonnées, les domaines de température dans lesquels les différentes formes allotropiques du fer pur sont stables ;

— le domaine ABCDEFGHI d'existence du fer γ (dont la limite inférieure IHGF définit le point de transformation symbolisé par Ae_1) et qui inclut :

- le domaine mixte ABC (fer δ + fer γ),
- le domaine mixte DEFG (fer γ + cémentite),
- le domaine mixte GHI (fer γ + fer α),
- le domaine ACDGI d'existence du fer γ seul qui est aussi le domaine dans lequel un acier non allié fer-carbone est, à l'état solide, monophasé CFC, tout le carbone étant en solution solide dans le fer γ (phase appelée austénite) et dont la limite inférieure IG définit le point de transformation symbolisé par Ae_3 ;

— la limite DG de solubilité du carbone dans le fer γ que l'on peut décrire approximativement avec la relation :

$$\text{Log (C \%)} = 1,363 - 1\,475/T$$

Avec T (K) température et qui définit le point de transformation symbolisé par Ae_m ;

— le domaine IGFJK d'existence du fer α (dont la frontière IG définit le point de transformation symbolisé par Ae_3) et qui inclut :

- le domaine mixte IGH (fer α + fer γ),
- le domaine mixte HGFJK (fer α + cémentite),
- le domaine IHK d'existence du fer α seul qui est aussi le domaine dans lequel un acier non allié fer-carbone (à très basse teneur en carbone) est, à l'état solide, monophasé CC, le carbone étant en solution solide dans le fer α (phase appelée ferrite);

— la limite HK de solubilité du carbone dans le fer α que l'on peut décrire approximativement avec la relation :

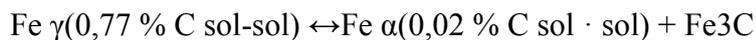
$$\text{Log (C \%)} = 2,36 - 4\,030/T$$

— l'évolution, en fonction de la teneur en carbone de la limite supérieure IG du domaine mixte fer α – fer γ (IGH) qui traduit l'influence du carbone sur l'état d'équilibre de l'austénite ; en présence de carbone en solution solide, celle-ci est stable à des températures inférieures à 912 °C. Le carbone stabilise donc l'austénite et, de ce fait, on le dit «gammagène » ;

— l'existence d'un eutectoïde dont les coordonnées sont :

$$C = 0,77 \% \text{ à } 727 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Et qui est constitué, lors de sa formation à 727 °C, par un agrégat de grains de ferrite (contenant 0,02 % de carbone) et de grains de cémentite Fe₃C (à 6,69 % de carbone). Dans un alliage fer-carbone, cet agrégat contient en poids (les proportions en volume sont pratiquement identiques) 88,78 % de ferrite et 11,22 % de cémentite (les proportions à 20 °C sont de 88,49 % de ferrite pratiquement sans carbone et 11,51 % de cémentite, cette dernière proportion a augmenté par suite de la précipitation du peu de carbone qui était en solution dans la ferrite à 727 °C). La réaction eutectoïde s'écrit :



Dans les conditions d'équilibre, elle se déroule à la température constante de 727 °C (pour un acier Fe-C non allié) ; [5]

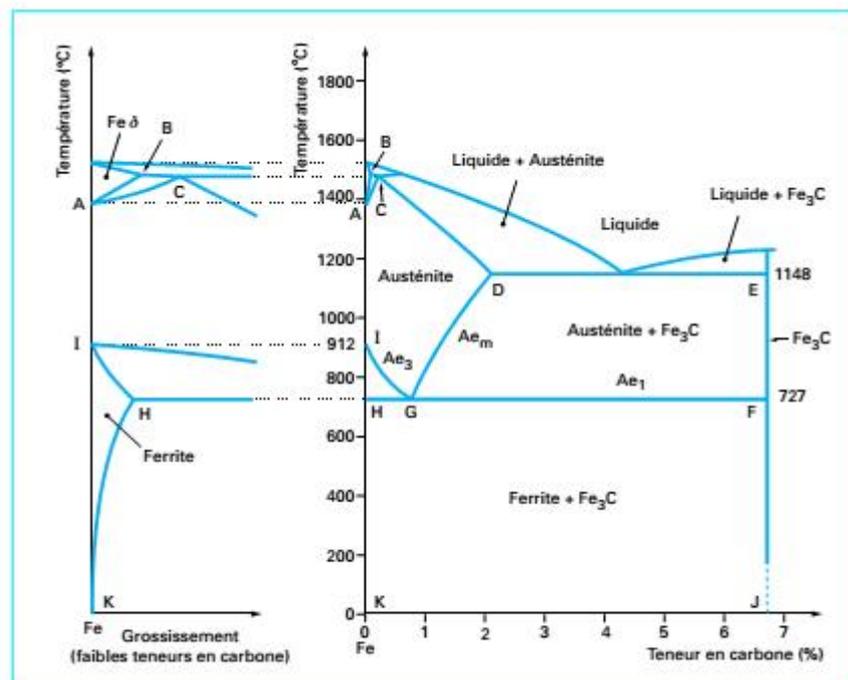


Figure I.1 : Schémas du diagramme d'équilibre Fe-Fe₃C [5].

I.4. Les différentes phases du système Fer-Carbone**I.4.1. La ferrite α**

Solution solide d'insertion de carbone dans le Fer α , à structure cubique centrée. Elle est relativement tendre ($HB \approx 80$), peu tenace ($R \approx 300$ MPa), mais très ductile ($A \approx 35\%$) [6].

I.4.2. La ferrite δ

Solution d'insertion de quelques atomes de carbone dans le fer δ . Sa structure est cubique centrée CC. Il se forme à la marge 1394-1538 °C et renferme 0.11% de carbone [6].

I.4.3. L'austénite γ

Solution solide d'insertion d'atome de carbone dans le Fer γ , à structure cubique à face centrée, la quantité de carbone atteint $\approx 2\%C$ à 1145°C. Il est stable qu'à haute température. L'austénite est très ductile [6].

I.4.4. La cémentite (Carbone de fer Fe_3C)

La cémentite est un composé chimiquement défini CCD. Sa décomposition égale à 6,67% en masse de carbone, en état métastable. La cémentite se présente sous forme de lamelles ou de globules dans la perlite ou d'aiguilles dans les fontes blanche. Elle est très dure et très fragile [6].

I.4.5. La perlite

Agrégat eutectoïde ayant une structure de lamelles alternées de ferrite et de cémentite. Ce constituant contient 0.8%C, La perlite est dure ($HB \approx 200$), résistante ($R_m \approx 850$ MPa) et assez ductile ($A \approx 10$) [6].

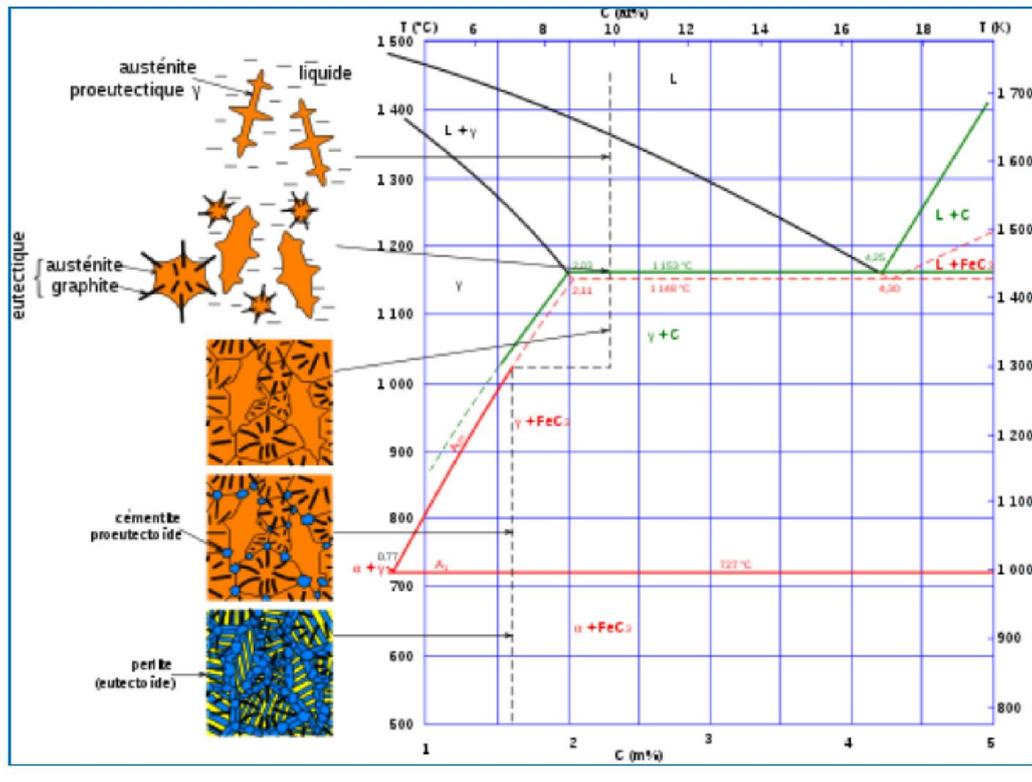


Figure. I.2 : Illustration schématique des principaux constituants du système Fe₃-C [6].

I.5. Les différentes classes des aciers

Il est habituel de classer les aciers en plusieurs groupes correspondant à différentes particularités de composition ou d'emploi. C'est ainsi que la norme NF EN 10020 distingue selon des classes de qualité définies

Ces notions sont définies comme suit :

I.5.1. Aciers non alliés et aciers alliés

Pour définir ces 2 classes d'aciers, on prend en compte :

- pour un élément d'alliage autre que Mn, la teneur minimale imposée pour l'analyse de coulée ou 70 % de la teneur maximale imposée si seule cette dernière est fixée;
- pour le manganèse, la teneur minimale imposée pour l'analyse de coulée ou la teneur maximale imposée si seule cette dernière est fixée (la limite prévue au tableau suivant est alors portée à 1,80 %).

Les limites des teneurs en éléments d'alliage qui séparent le domaine des aciers non alliés du domaine des aciers alliés sont indiquées dans le tableau 2. Un acier est considéré comme allié dès qu'une de ces limites est atteinte [7].

I.5.1.1.Aciers de qualité

Les aciers de qualité sont des aciers pour lesquels il existe, par exemple, des exigences de propriétés spécifiées de ténacité, de grosseur de grain et/ou de formabilité [7].

I.5.1.1.1.Aciers de qualité non alliés

Tous les aciers non alliés qui ne sont pas des aciers spéciaux [7].

Tableau I.1:Délimitations entre aciers non alliés et aciers alliés [7].

Élément spécifié	Limite %	Élément spécifié	Limite %
Al	0,30	Ni (1)	0,30
B	0,0008	Si	0,60
Cr	0,30	Ti (2)	0,05
Cu	0,40	V (2)	0,10
Mn	1,65(3)	W	0,30
Mo (1)	0,08	Zr (2)	0,05
Nb (2) 0,0	0,06	Autres (exceptés C, P, S, N)	0,10

(1) et (2) lorsque ces éléments sont spécifiés par 2 ou 3 ou 4 la valeur limite de la somme est égale à 70 % de la somme des valeurs individuelles.

(3) Si Mn est défini par un maximum la limite est 1,80.

I.5.1.1.2.Aciers de qualité alliés

Aciers qui contiennent des éléments d'alliage mais ne sont pas, en général, destinés à un traitement thermique. Font partie de cette catégorie :

- des aciers à grains fins soudables de construction métallique;
- des aciers pour tôles magnétiques;
- des aciers pour rails, palplanches ou cadres de mine;
- des aciers en produits plats destinés à un formage à froid sévère et contenant des éléments d'affinement du grain tels que B, Nb, Ti, V et /ou Zr;
- des aciers ne contenant comme élément d'alliage que Cu;
- des aciers dits « dual phase » (aciers biphasés ferritiques avec 10 à 35 % de martensite) [7].

I.5.1.2. Aciers spéciaux

Les aciers spéciaux présentent, par rapport aux aciers de qualité une plus grande pureté, notamment vis-à-vis des inclusions non métalliques. Ils sont généralement destinés à un traitement thermique et se caractérisent par une réponse régulière à ce traitement [7].

I.5.1.2.1. Aciers spéciaux non alliés

Font partie de cette catégorie :

- des aciers avec garantie de résilience à l'état trempé et revenu;
- les aciers avec garantie de réponse aux traitements thermiques;
- des aciers à teneur faible en inclusions;
- des aciers à teneur en S et P ne dépassant pas 0,020 % à l'analyse sur coulée et 0,025 % à l'analyse sur produit ;
- des aciers dont la résilience KV en long à – 50 °C est supérieure à 27J sur éprouvettes prélevées en long et 16 J sur éprouvettes prélevées en travers;
- des aciers pour réacteurs nucléaires avec $Cu \leq 0,10 \%$, $Co \leq 0,05 \%$ et $V \leq 0,05 \%$;
- des aciers ferrito-perlitiques micro-alliés au V et/ou Nb dont la teneur en carbone n'est pas supérieure à 0,25 %;
- des aciers pour armature de précontrainte du béton [7].

I.5.1.2.2. Aciers spéciaux alliés

Tous les aciers alliés qui ne sont ni des aciers de qualité ni des aciers inoxydables. Font partie de cette catégorie :

- les aciers de construction mécanique;
- certains aciers soudables à grains fins pour appareils à pression;
- certains aciers résistant au fluage;
- les aciers pour roulement ;
- les aciers à outils et les aciers à coupe rapide;
- des aciers à propriétés physiques spéciales [7].

I.5.1.3. Aciers inoxydables

Les aciers inoxydables sont des aciers contenant au minimum 10,5 % de chrome et au maximum 1,2 % de carbone. On distingue les aciers inoxydables qui contiennent moins de 2,5 % de nickel de ceux qui contiennent au moins 2,5 % de nickel. Font partie de cette catégorie :

- les aciers résistant à la corrosion;
- les aciers résistant à l'oxydation à chaud;
- certains aciers résistant au fluage [7].

I.5.2. Les aciers au carbone

Les aciers au carbone ne contiennent aucun élément d'alliage autre que le carbone. L'addition de carbone augmente la résistance à la traction, à la dureté et à la corrosion, mais diminue la ductilité et la malléabilité. Même en très petites quantités, le carbone modifie grandement la résistance du fer.

Les aciers au carbone se divisent en trois sous-familles: les aciers doux, les aciers à moyenne teneur en carbone et les aciers à forte teneur en carbone. Du point de vue pratique, la teneur en carbone de l'acier peut varier entre 0.05% et 1.35%, donnant ainsi diverses nuances. Outre le carbone, il existe dans l'acier, en proportions infimes, d'autres éléments tels

le manganèse, Mn, le phosphore, P, le soufre, S, et le silicium, Si. La dureté d'un acier est fonction de sa teneur en carbone [8].

I.5.2.1. Les aciers à faible teneur de carbone (%C < 0.25%)

Ces aciers sont produits en grande quantité et à moindre coût et se caractérisent par une grande ductilité et une grande ténacité mais une faible résistance.

Ils sont généralement renforcés par écrouissage (amélioration de la résistance et de la dureté par déformation plastique). Leur résistance à la traction se situe entre 415 et 550 MPa et leur allongement à la rupture peut atteindre 25%. Par ailleurs, ils peuvent être facilement usinés et soudés. On les trouve dans diverses applications (éléments de construction tels que les poutres, les profilés, les cornières, carrosserie de voitures, boîtes de conserve,....) [9].

I.5.2.2. Les aciers à moyenne teneur de carbone (0.25% à 0.6% de C)

Ces aciers offrent de meilleures combinaisons résistance-ductilité lorsqu'ils sont traités thermiquement (austénisation, trempe, revenu et recuit). L'apport d'éléments d'addition tels que le chrome, le nickel et le molybdène facilitent ces traitements. Ces aciers sont utilisés dans la fabrication de vilebrequins, d'engrenages, de roues et voies ferrées et autres pièces de structures qui nécessitent de grandes résistances et ductilité.

L'austénisation consiste à chauffer au cours de l'élaboration l'alliage à une température comprise entre 750 et 900°C pour obtenir la structure austénite c.f.c (ou fer gamma) [9].

I.5.2.3. Les aciers à forte teneur de carbone (0.6% à 1.4% de C)

Ils sont caractérisés par une grande dureté, une grande résistance et une faible ductilité. Étant résistants à l'usure, ils sont utilisés dans la fabrication d'outils de coupe, des lames de scies et de matrices. On associe souvent à ces aciers des éléments d'addition tels que le chrome, le vanadium et le tungstène afin d'obtenir des composés de carbures pour améliorer leur dureté [9].

I.6. Caractérisation des aciers

Pour permettre la caractérisation des aciers, les 3 critères principaux sont les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques [10].

I.6.1. Caractéristiques physiques

La dilatation est une caractéristique physique forte importante pour le constructeur métallique. Le coefficient de dilatation linéaire de l'acier est $12 \times 10^{-6} 1/K$ [10].

I.6.2. Caractéristiques mécaniques

Parmi les caractéristiques mécaniques des aciers, les plus couramment utilisées pour une application dans la construction métallique sont :

- **Limité d'élasticité : R_e en N/mm^2 ou MPa**

C'est la limite de la charge au-delà de laquelle le métal se déforme de façon irréversible c'est-à-dire qu'il ne retrouve plus sa géométrie initiale; la déformation n'est plus élastique et subsiste, elle devient plastique. Elle sert au calcul à la contrainte des éléments travaillant à la flexion, au cisaillement, au flambement [10].

- **Résistance à la traction (rupture) : R_m en N/mm^2 ou MPa**

C'est la plus grande force que le métal peut supporter en traction avant rupture. Elle sert au calcul de fatigue [10].

- **Allongement à rupture : A en %**

C'est l'allongement maximal tolérable avant la rupture [10].

- **Module d'élasticité: E en N/mm^2**

Exprimant la rigidité du métal, c'est le facteur de proportion entre une contrainte appliquée à une barre et l'allongement relatif de cette barre dans le domaine plastique [10].

- **Résilience: KCV en J/cm^2**

C'est une caractéristique qui permet d'apprécier la résistance d'un métal à une rupture brutale; l'essai consiste à rompre à l'occasion d'un choc unique une section métallique entaillée en son milieu, reposant sur 2 appuis et sollicitée en flexion.

Il s'agit d'un des principaux critères de choix de qualité d'acier pour les constructions soudées [10].

- Dureté

C'est la résistance à la déformation. Cette caractéristique permet d'estimer les propriétés mécaniques d'un métal. En effet, des correspondances entre les résultats de mesure de dureté et le niveau de résistance (essentiellement à la traction) ont été établies; elles dépendent de la nature du métal de base [10].

I.6.3. Caractéristiques chimiques

Les métaux sont susceptibles de réagir chimiquement une fois en contact avec d'autres éléments.

Lorsqu'il y a altération, on parle de corrosion.

La teneur des éléments qui le composent est donnée par les normes ou par les catalogues des producteurs.

La réactivité des aciers avec leur environnement est importante. La corrosion atmosphérique dépend de l'humidité relative et de la pollution de l'air. Elle engendre une dégradation du matériau en termes d'épaisseur, de poids et par conséquent de performances [10].

- Ténacité

C'est la capacité d'un métal à résister à la propagation brutale d'une fissure. Comme il est pratiquement impossible de garantir qu'une construction ne comporte aucun défaut, il est indispensable de prendre en compte ces défauts pour estimer la taille critique de ces défauts au-delà de laquelle ils seront responsables de la rupture et en deçà de laquelle la rupture serait évitée [10].

I.7. Composition chimique des aciers

Les aciers sont des alliages de fer et de carbone dont la teneur en carbone est inférieure à 2 % ($C < 2\%$), outre le fer et le carbone qui en sont les éléments principaux rentrant dans sa composition, un acier ordinaire contient principalement du silicium, du manganèse, du soufre et du phosphore [11].

I.8. Propriétés chimiques, physiques et mécaniques du fer

- Point de fusion: $\theta_f = 1538^\circ\text{C}$
- Structure cristalline:
 - CC (ferrite δ) entre $\theta_f = 1538^\circ\text{C}$ et 1394°C
 - CFC (austénite γ) entre 1394°C et 912°C
 - CC (ferrite α) entre 912°C et l'ambiante
- Passage de l'état ferromagnétique (à basse température) à l'état paramagnétique (à haute température) à 768°C (point de Curie).
- Masse volumique: $\rho = 7870 \text{ kg.m}^{-3}$
- Module d'élasticité longitudinal (module d'Young) E: 211400 N/mm^2 ; ($T=20^\circ\text{C}$)
- Module de Coulomb G : 81600 N/mm^2 ; ($T=20^\circ\text{C}$)
- Conductivité thermique: $73.3 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$; ($T=20^\circ\text{C}$)
- Coefficient de dilatation linéique (fer α à 20°C): $\alpha = 12.6.10^{-6}.\text{K}^{-1}$
- Résistivité électrique: $0.104 \mu\Omega .\text{m}$
- Caractéristiques mécaniques à 20°C (fer α pur):
 - Résistance à la traction $R_m = 180$ à 290 MPa
 - Limite d'élasticité $R_e = 100$ à 170 MPa
 - Allongement à la rupture $A \% = 40$ à 50% [12,13].

I.9. Symbolisation des aciers

En fonction du type d'acier utilisé, on utilise des symboles différents pour la désignation [14]:

Tableau I.2.Symbolisation des aciers en fonction du type d'acier utilisé [14].

Symbole	Acier	Désignation
B	Acier à béton	Générale
C	Acier non allié avec Mn < 1%	Générale
E	Acier de construction mécanique	Générale
H	Acier à haute résistance laminé à froid pour emboutissage à froid	Générale
HS	Acier rapide	Spéciale
HT	Acier à haute résistance laminé à froid pour emboutissage à froid	Générale
L	Acier pour tube de conduite	Générale
M	Acier magnétique	Spéciale
P	Acier pour appareils de pression	Générale
R	Acier pour ou sous forme de rails	Générale
S	Acier de construction	Générale
T	Fer noir, blanc ou chromé à simple réduction de laminage	Générale
TH	Fer noir, blanc ou chromé à simple réduction de laminage	Générale
X	Acier allié avec au moins élément de teneur $\geq 5\%$	Spéciale
Y	Acier pour béton précontraint	Générale
	Acier faiblement allié	Spéciale

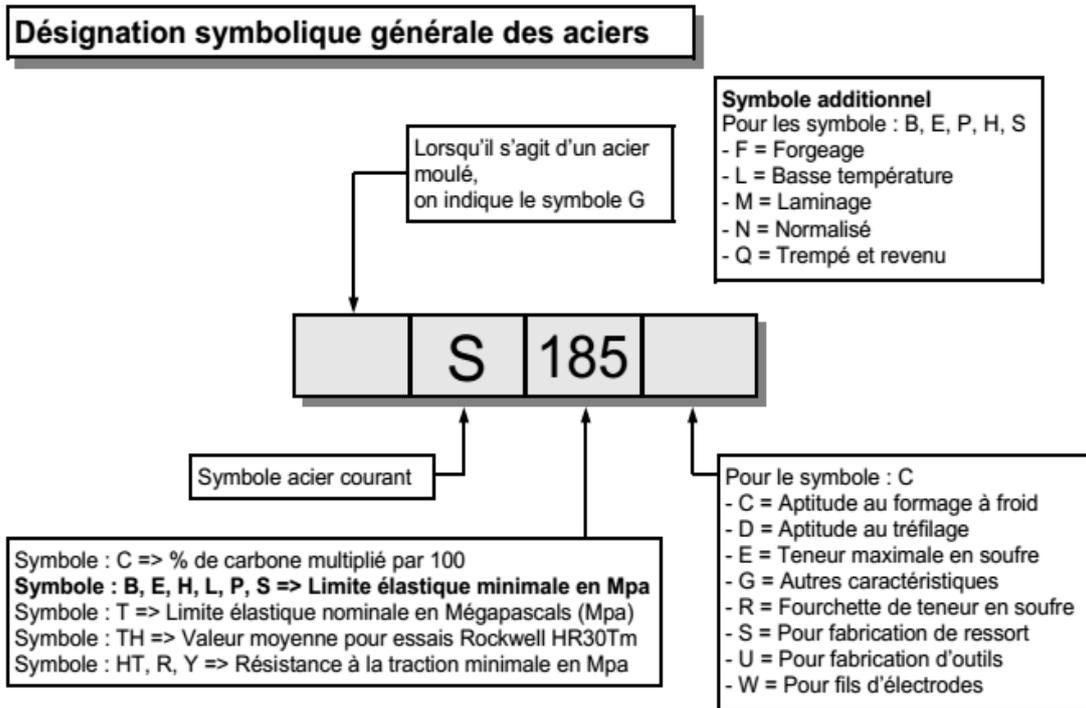


Figure I.3 : Désignation symbolique générale des aciers.

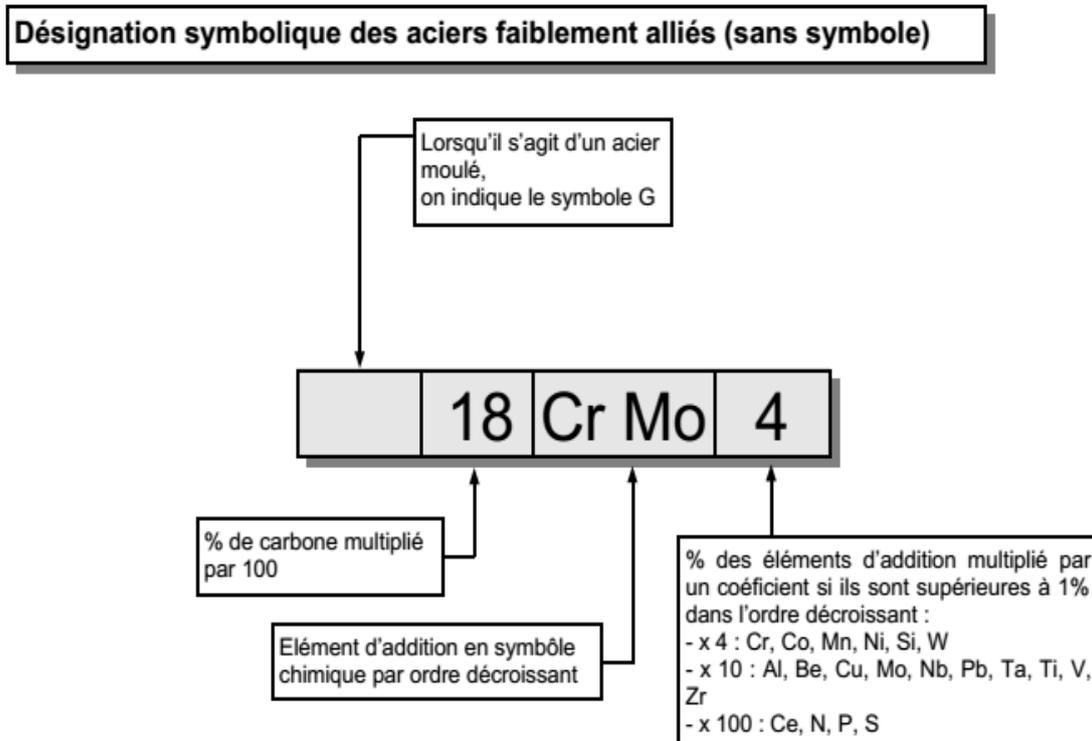


Figure I.4 : Désignation symbolique des aciers faiblement alliés (sans symbole).

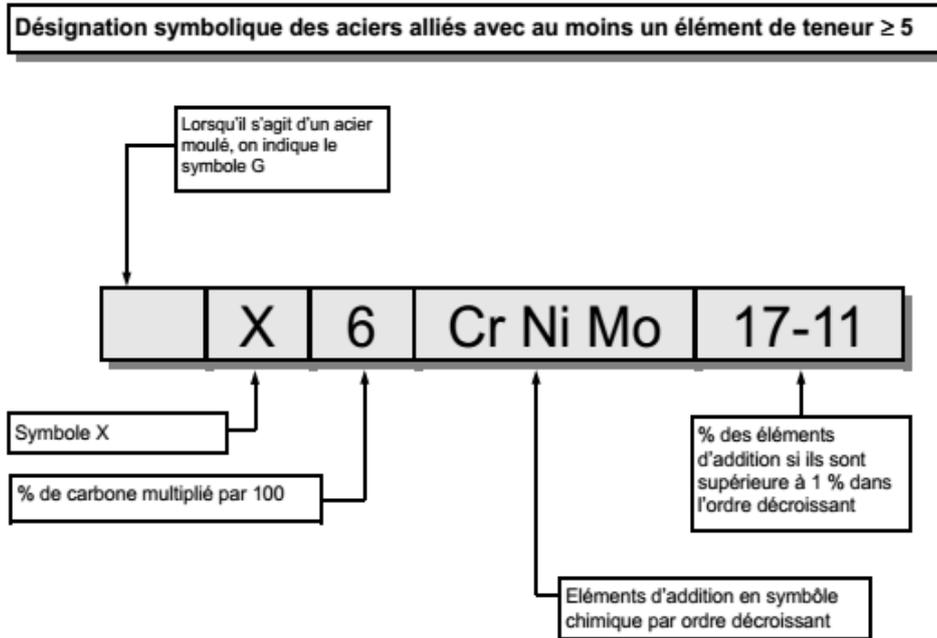


Figure I.5 : Désignation symbolique des aciers alliés avec au moins un élément de teneur ≥ 5

Remarque: Les symboles additionnels sont optionnels et ne sont donnés ici qu'à titre indicatif [14].

I.10. Influence spécifique des éléments d'addition

Les principaux éléments d'addition du fer sont : le carbone, le chrome, le nickel, le tungstène, le molybdène, le vanadium, le manganèse, l'aluminium, le silicium, le titane, le niobium, l'azote... ; ils ont une influence significative sur les caractéristiques. L'action des éléments d'addition dépend essentiellement des deux facteurs décrits ci-dessous:

I.10.1. Le carbone

Élément fortement gammagène (diagramme de Schaeffler), il contribue à stabiliser l'austénite lors de déformations à froid. Par contre, il peut provoquer la formation de carbures de chrome Cr_23C_6 inter granulaires qui diminuent la résistance à la corrosion inter granulaire [15].

I.10.2. Le chrome

Cet élément d'addition alphasène est particulièrement important. Il augmente la trempabilité de l'acier. Par la formation de carbures de types M_7C_3 (1400-1500 HV), il

améliore la résistance à l'abrasion, diminue le grossissement du grain lors de l'austénisation, retarde l'adoucissement lors du revenu et contribue à la réduction de l'oxydation à haute température, augmente la résistance à la corrosion (sauf en milieu sulfurique). Suite à son rôle alphasène pour des teneurs supérieures à 7 %, il renforce la résistance à la fissuration à chaud lors de solidifications rapides (telles que celles rencontrées dans des opérations de soudage) [15].

I.10.3. Le nickel

Grâce à son rôle gammagène, il stabilise l'austénite aussi bien à la température ambiante qu'aux températures très basses. Son principal intérêt est d'améliorer la trempabilité et la ténacité.

Cependant, il augmente la teneur en austénite résiduelle après trempe ce qui entraîne des difficultés lors du revenu. Il favorise ainsi la mise en œuvre par déformation plastique [15].

I.10.4. Le molybdène

Cet élément donne naissance à des carbures de haute dureté (M_6C –1500HV, M_2C –2000 HV) qui augmentent la résistance à l'usure à chaud. De plus cet élément ralentit la cinétique d'adoucissement au revenu. Il améliore la ductilité, la mise en solution des carbures diminue la teneur en austénite résiduelle après trempe. Enfin, le molybdène, élément alphasène, est fréquemment utilisé à des teneurs de 2 à 5 % pour améliorer la résistance à la corrosion dans presque tous les milieux, à l'exception des solutions nitriques bouillantes. Cependant, lorsque ce type d'alliage est soumis à des températures comprises entre 500 et 1000°C pendant des durées allant de 1 à 1000 heures, on observe la formation de composés intermétalliques dont la présence altère à la fois la résistance à la corrosion et les caractéristiques mécaniques [15].

I.10.5. Le silicium

Le silicium, autre élément alphasène, améliore les propriétés d'emploi à haute température mais diminue la résistance à la fissuration lors du soudage. Avec une teneur voisine de 0.3 % en masse, il est utilisé comme désoxydant dans l'acier liquide au stade final de l'élaboration. Des teneurs d'environ 1 % entraînent une augmentation de la limite

élastique, de la résistance à l'oxydation au -delà de 1000°C et de la trempabilité par effet de synergie avec d'autres éléments d'alliages comme le molybdène. Il permet aussi de diminuer la stabilité des carbures M₂C, ce qui abaisse la fragilité du métal [15].

I.10.6. Le niobium

A un point de fusion beaucoup plus élevé que le titane et présente des propriétés semblables. Il est utilisé dans les métaux d'apport pour soudage à l'arc électrique en lieu et place du titane qui serait volatilisé pendant le transfert dans l'arc électrique [15].

I.10.7. Le titane

Titane est employé essentiellement en raison de leur très grande affinité pour le carbone. Il évite l'altération des structures métallurgiques lors du travail à chaud, en particulier lors des travaux de soudure où il prend la place du chrome pour former un carbure de titane (TiC) évitant de ce fait la perte du caractère d'inoxydabilité dans les zones affectées par la chaleur (ZAC) du fait de la captation du chrome[15].

I.10.8. Le manganèse

Le manganèse intervient également dans tous les aciers comme désoxydant ; il augmente la trempabilité, permet d'obtenir des aciers à structure austénitique stable. Mais il participe à la formation de carbures et se trouve dans la cémentite, où il remplace une partie du fer [15].

I.10.9. Le cuivre

Le cuivre, en petites proportions, améliore la résistance de l'acier à l'oxydation par l'aire [15].

I.10.10. Le soufre

Le soufre il diminue la résistance à la corrosion [15].

I.10.11. Le zirconium

Générateur de carbures; utilisation métallurgique en tant qu'élément additionnel de désoxydation, dé nitruration et désulfuration car laissant peu d'impuretés. Les additions de Zr dans des aciers de décolletage sulfureux et entièrement calmés exercent une influence

favorable sur la formation de sulfures et évitent ainsi une cassure au rouge. Il accroît la longévité des matériaux de confection des conducteurs chauffants et provoque une striction de la zone γ [15].

I.11. Transformation de phase dans les aciers

Les objectifs de cette partie sont :

De présenter le deux type de transformation de austénite au refroidissement : diffusion et intermédiaire ou martensitique, en donnant leurs caractéristiques majeures, de décrire plus en détail les caractéristiques cristallographiques de la transformation martensitique déformation de transformation, plan invariant [16].

I.11.1. transformation au cours de chauffage (Austénisation)

L'austénisation a pour objet de mettre en solution le carbone et éventuellement, les éléments d'alliage précipités sous forme de carbures. Pour ce faire, il est nécessaire de se placer dans les conditions où le carbone est soluble dans le fer, c'est-à-dire de provoquer, par chauffage, la transformation du fer α en fer γ . La transformation austénitique peut être obtenue si la température est supérieure à AC_3 , plus elle est élevée plus le grain austénitique est gros et cela influence notablement les conditions de transformations au refroidissement (Marry, 1998).

On appelle conditions d'austénitisation, les paramètres intervenant dans la transformation $\alpha \rightarrow \gamma$, les principaux sont :

- La vitesse de montée en température, la nature et la teneur des éléments alliés, qui influent sur la cinétique de transformation et les points de début et de fin de transformation,
- La température et la durée du maintien, au-delà de AC_3 pour la quantité d'austénite nouvellement formée, qui définissent la taille de grain austénitique [16].

I.12.2. Transformation au cours de refroidissement

En refroidissement, on a l'habitude de distinguer les transformations par diffusion, les transformations par cisaillement (ou martensitiques), les transformations intermédiaires (réactions massives ou bainitiques).

I.12.2.1. Transformation par diffusion

A une température de maintien isotherme déterminée, l'austénite se décompose pendant la période de croissance en agrégats ferrite-carbures après un temps d'incubation. Cette décomposition est gouvernée par le changement de réseau cristallin du fer γ (CFC) vers le fer α (CC) d'autant plus que l'on s'éloigne de AC_3 et par la tendance à la formation de carbures d'autant plus facile que la température est élevée (phénomène thermiquement activé) [16].

I.12.2.2. transformation par cisaillement ou transformation martensitique

La phase mère peut être conservée par un refroidissement très rapide dans un état d'équilibre métastable à température. La force motrice à la décomposition augmente avec l'abaissement de température jusqu'à permettre un autre mode de transformation.

Au-dessous d'une température dite température de début de transformation martensitique (M_s) où la force motrice devient suffisante pour faire apparaître un germe stable. L'intérêt est à la fois de grandes régions de la phase mère contenant un grand nombre d'atomes, ce qui crée un nouveau réseau.

La distance parcourue par un atome quelconque par rapport à ses voisins est inférieure à l'espacement des atomes dans le réseau. La composition de la phase mère et de la phase produite sont les mêmes. L'exemple le plus connu est la transformation des alliages ferreux à l'état martensitique. Le cisaillement d'un volume du cristal pour produire un nouveau réseau contenant le même nombre d'atomes implique un changement de forme qui donne naissance à de fortes tensions élastiques [16].

I.12.2.3. Transformation intermédiaires

En abaissant les températures de transformation d'un même alliage, on passe continuellement des transformations par diffusion à hautes températures, où la mobilité atomique est négligeable et la force motrice considérable.

Des transformations mixtes sont attendues aux températures intermédiaires où la mobilité est faible et où la force motrice est insuffisante pour entretenir un processus complet de cisaillement. Les transformations bainitiques des aciers s'y apparentent (Murry) [16].

Chapitre

II

II.1.Introduction

Un traitement thermique est une opération ou une succession d'opération pendant laquelle (les quelles) un alliage métallique, à l'état solide, est soumis à un ou plusieurs cycles thermiques.

Les traitements thermiques ont pour but de donner à la pièce traitée les propriétés les plus convenables pour sa mise en œuvre et son emploi. D'une manière générale les traitements thermiques ne modifient pas la composition chimique mais apportent des modifications du point de vue constitution (état du carbone, forme allotropique), structure (taille de grain, répartition des constituants) et état de contrainte.

Un traitement thermique comporte obligatoirement :

1. Un chauffage ;
2. Un maintien pendant un temps à la température de traitement ;
3. Un refroidissement (retour à la température ambiante) [17].

II.2.Traitements thermiques des aciers

Le procédé de traitement thermique d'un acier consiste à lui faire subir une variation de la température en fonction du temps. Il se compose d'un certain nombre d'opérations de chauffage et de refroidissement. Le but étant d'améliorer les caractéristiques des matériaux (résistance à la rupture, augmentation de la limite d'élasticité, dureté) pour une meilleure adaptation aux conditions en service. Cette amélioration vient des modifications structurales de la structure : meilleure homogénéisation, amélioration de la taille des grains (il permet de régénérer, par exemple, un métal ayant subi le forgeage et qui présente un grain trop grossier en affinant les grains). Il permet également de réduire les contraintes internes des matériaux, générées de par son histoire, qui peuvent être néfastes pour la pièce [18].

II.3.Les types des traitements thermiques des aciers

Les traitements thermiques des aciers consistent à mettre en application les nombreux changements structuraux qui peuvent découler des transformations de phase ainsi que des phénomènes de recristallisation et de diffusion. On peut les subdiviser en trois groupes :

- 1) Les recuits ;

2) Les trempes ;

3) Les traitements d'amélioration (revenus) [19].

II.3.1. Trempe

II. 3.1.1. Définition

C'est un traitement thermique de durcissement consistant à chauffer la pièce à une température supérieure à la ligne de transformation fer $\alpha \rightarrow$ fer γ (austénisation), puis on lui fait subir un refroidissement rapide pour obtenir une durée maximale [20].

II.3.1.2. Les types de trempe

II.3.1.2.1. Trempe martensitique

La trempe est un procédé de traitement d'un matériau. Il concerne surtout les métaux et le verre.

Ce traitement peut être thermique (refroidissement rapide) ou chimique (immersion dans un bain de sel fondu), il peut aussi être dans la masse du matériau ou uniquement à sa surface [20].

II.3.1.2.2. Trempe bainitique

C'est une austénisation suivie d'un refroidissement rapide jusqu'à θ_b (température de trempe bainitique), maintenue pendant le temps nécessaire à la transformation complète de l'austénite. On refroidit ensuite jusqu'à température ambiante [20].

II.3.1.2.3. Trempe d'aciers austénitique ou hypertrempe

Sur certains aciers austénitiques, cette trempe crée une structure d'austénite homogène à température ambiante. Elle provoque l'adoucissement du matériau (comme certains aciers inox). Elle se produit si la température de trempe est trop élevée [20].

II.3.1.3. Cycle de trempe

On cherche à obtenir la transformation de l'austénite (stable à température élevée) en constituants métastables (pas stables mais la très faible vitesse de réaction donne une apparence de stabilité) : solution sursaturée de carbone dans le fer α . Le cycle de trempe comprend 2 étapes : l'austénisation puis le refroidissement [20].



Figure II.1: Le cycle de la trempe. [20]

II.3.2.Le Revenu

II.3.2.1.Principe et But de Revenu

La trempe an isotherme est en général un traitement énergétique conduisant à un métal à R_m , R_e , H élevées du fait de la présence recherchée de martensite, mais dont la ductilité (A%) et la résilience (K) sont très faibles pour la même raison. Si on tient compte également d'un niveau de contraintes propres souvent important, il est évident qu'un acier ne peut être utilisé en service directement à l'état trempé.

L'opération de revenu est destinée à corriger plus ou moins complètement ces inconvénients. Elle conduit à un métal de caractéristiques convenables présentant un compromis satisfaisant entre R_m , R_e , d'une part et A%, K d'autre part. Contrairement à la trempe qui est une opération rapide et de contrôle difficile, le revenu permet un contrôle aisé des transformations et des propriétés du métal.

Le revenu est un traitement thermique effectué après trempe en continu, il consiste en:

- Un réchauffage à une température $T_R < AC_1$,
- Un maintien de durée t_R à T_R .
- Un refroidissement jusqu'à la température ambiante de préférence lentement.

Le revenu provoque une évolution du matériau vers un état plus proche de l'état physico-chimique d'équilibre sans toutefois rechercher à atteindre celui-ci. Le choix de T_R et t_R permet de contrôler ce retour plus ou moins complet vers l'état d'équilibre [21].

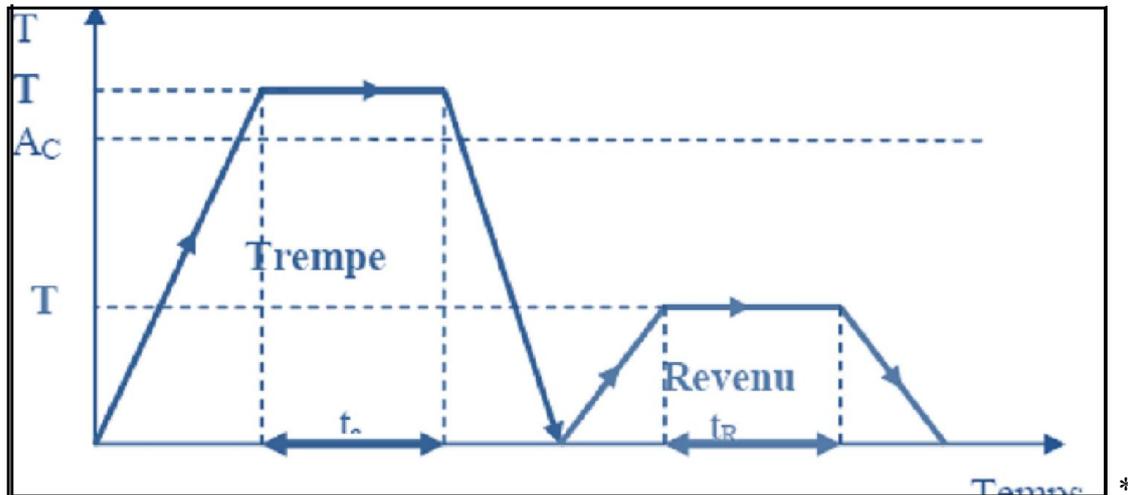


Figure II.2 : Cycle complet (trempe, revenu). [21]

II.3.2.2. Différents types de revenu

En fonction du résultat attendu, on distingue plusieurs types de revenu :

II.3.2.2.1. Revenu de relaxation ou de détente

Il s'effectue entre 180°C et 220°C - 250°C . Il ne provoque aucune modification de structure mais une relaxation des contraintes multiples dues au refroidissement brusque de la trempe et au changement de structure austénite et martensite. Il provoque une légère diminution de la dureté et une légère remontée de la résilience. Il est fait sur des pièces soumises à des fortes sollicitations sans choc ou devant conserver une forte dureté superficielle [21].

II.3.2.2.2. Revenu de structure ou classique

Dans ce cas, le revenu s'effectue entre 500°C et A_{C1} . On observe une augmentation des caractéristiques K, A et Z et une diminution plus importante de H, Rm et Re. Ce type de revenu permet d'établir un compromis entre les caractéristiques mécaniques suivant l'emploi des aciers [21]

II.3.2.2.3. Revenu de durcissement

Des revenus effectués entre 450 et 600°C sur des aciers alliés peuvent provoquer des durcissements appelés durcissements secondaires (cas des aciers à outils au chrome ou des aciers rapides). Il y a d'abord précipitation des carbures complexes maintenu en solution dans un reste d'austénite résiduelle puis une déstabilisation de cette dernière qui se transforme en martensite au moment du refroidissement. Ces deux transformations successives vont donc nécessiter un second revenu pour éviter que la martensite secondaire ne provoque pas fragilité excessive. (Dans certains aciers rapides, trois revenus successifs peuvent être nécessaires)[21].

II.3.3. Recuit

II.3.3.1. Le but de recuit

Le recuit d'une pièce métallique ou d'un matériau est un procédé correspondant à un cycle de chauffage. Celui-ci consiste en une étape de montée graduelle en température suivie d'un refroidissement contrôlé. Cette procédure, courante en sciences des matériaux, permet de modifier les caractéristiques physiques du métal ou du matériau étudié. Cette action est particulièrement employée pour faciliter la relaxation des contraintes pouvant s'accumuler au cœur de la matière, sous l'effet de contraintes mécaniques ou thermiques, intervenant dans les étapes de synthèse et de mise en forme des matériaux. À l'occasion d'un recuit, les grains (mono-cristaux) de matière se reforment et retrouvent en quelque sorte, leur « état d'équilibre » [22].

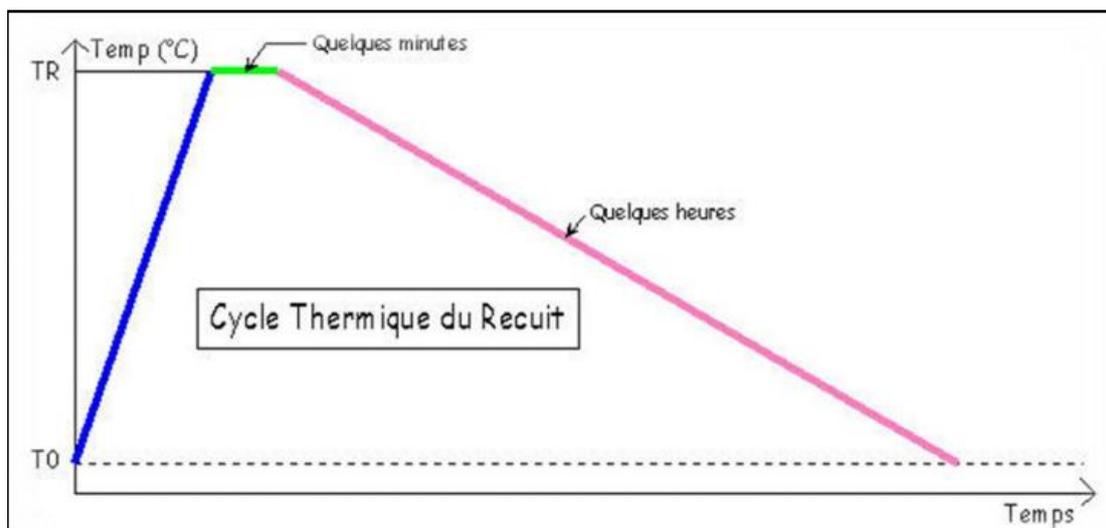


Figure II.3 : Cycle thermique du recuit [22].

II.3.3.2. Les principes de recuit

II.3.3.2.1. Chauffage

Le chauffage se fera à vitesse modérée. Certains aciers "difficiles" demanderont des paliers intermédiaires ou des vitesses de montée en température précises.

La température de recuit (T_R sur le graphe) est spécifique à chaque acier. Une fourchette est généralement donnée par le fournisseur d'acier. A défaut, il sera toujours possible d'utiliser les données techniques d'un acier proche ou similaire.

En général, cette température est de l'ordre de :

> Pour les aciers hypoeutectoïdes = $AC_3 + 50^\circ C$.

> Pour les aciers hypereutectoïdes = $AC_1 + 50^\circ C$ [6].

II.3.3.2.2. Maintenu

La température de recuit sera maintenue pendant un moment. Les ouvrages théoriques donnent en général des durées genre 1 minute par millimètre de la pièce. Si la montée en température n'a pas été trop rapide, la température est relativement homogène (surtout sur une pièce de 3 ou 4 millimètres d'épaisseur) et on peut diminuer le temps de maintien en température [22].

II.3.3.2.3. Refroidissement

Idéalement, le refroidissement devrait être le plus lent possible. Dans la pratique, il doit être adapté à l'acier. Certains aciers (particulièrement ceux avec du Chrome) exigent un refroidissement très lent.

Le meilleur compromis, influant directement sur les moyens à mettre en œuvre, découle de l'expérience acquise avec un acier [22].

II.3.3.3. Les types de recuit

II.3.3.3.1. Recuit complet

Couramment appelé recuit. Il est effectué sur des pièces ayant subi des traitements thermiques ou mécaniques dont on désire supprimer les effets (constituants durs) pour en

faciliter l'usinage. La pièce est portée à $AC_3 + 50^\circ\text{C}$ environ 30mn puis refroidie lentement à l'air ou au four [22].

II.3.3.3.2. Recuit d'adoucissement

Il est effectué sur des aciers auto - trempant. La pièce est chauffée à une température inférieure à AC_1 pendant 6 à 8 heures puis refroidie à l'air libre. Cette basse température évite la réalisation d'une trempe [22].

II.3.3.3.3. Recuit de coalescence

Il est effectué sur des pièces à fort pourcentage de carbone (exemple: Z200C13-100C6), dans le but d'obtenir l'adoucissement maximal. La pièce est chauffée en dessous de AC_1 pendant 30mn puis refroidie à l'air libre [22].

II.3.3.3.4. Recuit d'homogénéisation

Aussi appelé recuit de diffusion il est surtout effectué sur des aciers bruts de coulée ou sur des aciers moulés aux dimensions importantes pour supprimer l'hétérogénéité chimique. La pièce est portée à une température aussi élevée que possible sans atteindre le solidus réel. Pratiquement, la température est de l'ordre de $AC_3 + 200^\circ\text{C}$ La durée de ce traitement est de plusieurs heures. Le métal qui a été surchauffé est suivi d'un recuit de régénération [22].

II.3.3.3.5. Recuit de normalisation

C'est une variante du recuit de régénération qui s'applique aux pièces brutes de forgeage ou de laminage. Il s'effectue dans les mêmes conditions de chauffe ; la pièce est ensuite refroidie à l'air calme [22].

II.3.3.3.6. Recuit de détente ou de stabilisation

Il est effectué sur des pièces après moulage ou soudage pour éliminer les tensions internes avant l'usinage. La pièce est chauffée vers 600°C pendant environ une heure puis refroidie à l'air libre [22].

II.3.3.3.7. Recuit de recristallisation ou de restauration

Il est effectué sur des pièces écrouies à une température de l'ordre de 600°C. L'érouissage provoque une grande augmentation de la fragilité et dans certains cas, il est impossible de continuer le travail de l'acier (tréfilage par exemple) [22].

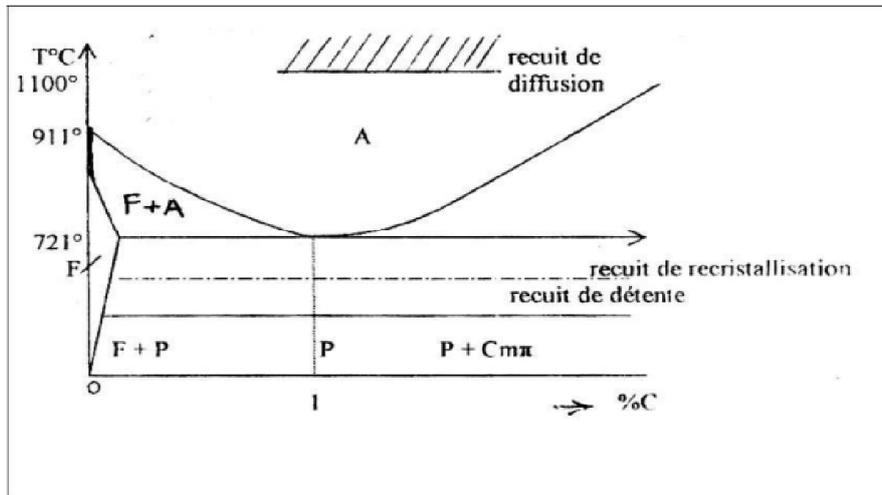


Figure II.4 : Cycles thermiques des différents recuits [22].

II.4. Effet des traitements thermiques

Les effets de ces traitements thermiques dépendent pour un même métal :

- De la température T.
- De la durée de maintien de la pièce métallique à la température T.
- De la vitesse avec laquelle sont localisées les opérations de chauffage et de refroidissement [1].

II.5. Le but de traitement thermique

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 modifications 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 avant subit 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 les quel son 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 [23].

II.6.Cycle de traitement thermique

En général le traitement thermique comprend 3 étapes : Figure. II.6.

- Un chauffage jusqu'à une température qui dépend du type de traitement voulu.

- Maintien isotherme à cette température de traitement.

- Un refroidissement dans un milieu préalablement défini.

Toute fois le choix du traitement le plus approprié est en lui-même d'une grande difficulté plus particulièrement dans le choix de ces paramètres, et ce en fonction des structures et des propriétés physiques et mécaniques souhaitées [24].

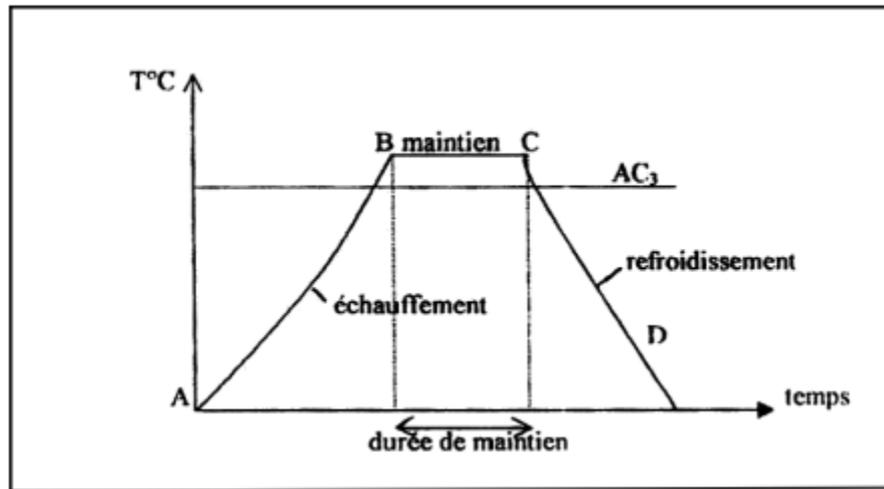


Figure II.5 : Cycle de traitement thermique [25].

AB : L'échauffement à des températures supérieures aux températures de transformation (par exemple : AC_3)

BC : Maintien 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) [25].

Chapitre

III

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, le but est de présenter les différentes techniques expérimentales utilisées pour l'étude des caractéristiques de la structure de l'acier BS2 à 0,19C°/° de carbone.

Cette étude est basée sur la caractérisation structurale de métal de base MB.

Diverses techniques ont été utilisées pour caractériser nos échantillons : les observations micrographiques, la diffraction des rayons X et des mesures de la microdureté (Hv).

Le travail a été abordé en respectant les étapes suivantes :

- Prélèvement de l'échantillon ;
- Réalisation du traitement thermique ;
- Examen Métallographique ;
- Une observation micrographique à l'aide d'un microscope optique ;
- Caractérisation par diffraction des rayons X.
- Mesure de la microdureté [1].

III.2. Composition chimique de BS2

Eléments	C	Si	Mn	P	S	AL	Nn	Nb	Ti
La quantité massique (%)	0.19	0.25	0.4	0.025	0.015	0.09	0.009	0.05	0.03

Tableau III.1 : composition chimique de BS2.

III.3. Observations microscopiques et essais de microdureté**III.3.1 Observation microscopique**

Avant chaque observation microscopique les échantillons subissent un polissage mécanique puis une attaque chimique.

III.3.1.a. Polissage mécanique

Le polissage consiste à rendre la surface de l'échantillon plane, brillante et sans rayures. Dans le but de réaliser un bon polissage, on a procédé d'abord, par un pré polissage des surfaces à examiner, qu'on a réalisé avec un touret sous eau et des abrasifs de plus en plus fin de granulométrie 120,180,320, 600, 800,1000, 1200, puis par une finition réalisée à l'aide d'une pâte diamantée répartie à l'aide d'un diluant sur un disque de feutre[26].



Figure III.1 : photo d'une polisseuse.

III.3.1.b. Attaque chimique

L'attaque chimique révèle les joints des cristaux et donne des différences de coloration entre les différents constituants ce qui permet de les observer. Pour cela nous avons utilisé l'effet des réactifs qui vont donner une coloration aux surfaces polies. Pour avoir une bonne microstructure, nous avons choisi le nital. La composition chimique de ce dernier et la durée de l'attaque chimique sont présentées dans le tableau ci-dessous [26].

Tableau III.2 : Composition du nital et durée de l'attaque chimique.

Nuance	Réactif	Durée
SB2	-4ml d'acide nitrique HNO_3 . -96ml d'ethanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.	3à5 secondes.



Figure III.2 : L'échantillon préparé pour le microscope optique.

III.3.1.c. Microscopie optique

La microscopie optique est une méthode physique d'observation des métaux, qui consiste à examiner par réflexion au microscope une surface polie et généralement attaquée. Elle a pour but principal, la mise en évidence de la structure de l'échantillon et des inclusions non métalliques. Nos examens de microscopie optique ont été réalisés à l'aide d'un microscope. Le but des observations microscopiques, est la détermination des structures des différents échantillons en fonction du temps [26].



Figure III.3 : Microscope optique (Hund).

III.3.2. Microduremètre

On appelle dureté la propriété d'un corps de s'opposer à la déformation plastique provoquée par des contacts de la couche superficielle ; la rapidité et la simplicité de l'essai de dureté, ainsi que la possibilité de juger des propriétés d'une pièce sans la détruire, contribuent à sa large extension pour le contrôle de la qualité du métal des pièces et des produits métalliques.

Pour cela on utilise la dureté Vickers HV est le rapport entre la charge appliquée et la surface projetée de l'empreinte rémanente :

$$HV = (1.854 \cdot F) / (9.81 \cdot d^2).$$

Avec F la charge appliquée et la diagonale de l'empreinte en μm . Cette méthode est largement appliquée pour mesurer des pièces de faibles épaisseur ou couches superficielles minces à dureté élevée. La dureté est déterminée par l'empreinte laissée dans la surface mise à l'essai (réactif ou même polie) par une pyramide en diamant à base carré sous une charge de

300 g. De trois mesures sont effectuées sur chaque échantillon et une moyenne est prise, Le Microduremètre utilisé est illustré dans la photo suivant (Figure III.4) [27].

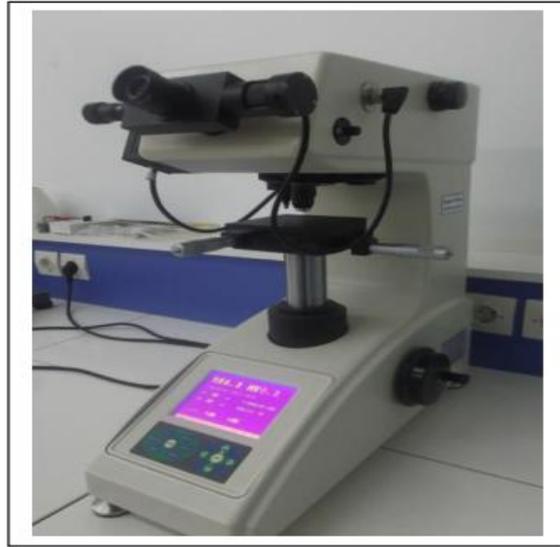


Figure III.4: Microduremètre de type Hardness.

III.4.Traitement thermique

Lors du traitement thermique, les échantillons ont été traités comme suit:

-L'homogénéité à 1000 °C pendant une demi-heure.

-Tous les traitements thermiques sont toujours effectués après l'homogénéisation, suivis d'une trempe à l'eau froide.

-Vieillessement artificiel à différents températures : 900, 700 et 500°C pendant différentes périodes (30 minutes et 1 heure).

Pour ces traitements thermiques nous avons utilisé un four électrique de type de Nabertherm D-2804. (Figure III.5)



Figure III.5:four électrique type de Nabertherm D-2804.

III.5. Caractérisations structurales

III.5.1. Diffraction des rayons X

Nous avons utilisé le diffractomètre automatisé (D8 ADVANCE08), lié à microordinateur celui-ci est caractérisé par la source de la radiation $\text{CuK}\alpha$, ayant une longueur d'onde de $1,541838 \text{ \AA}$, avec une tension de 40 KV, un courant de 40 mA et une anticathode de cuivre en filtre de Nickel.

Lors d'une analyse par cette technique, un faisceau de rayons X, émis par une source, est envoyé sur l'échantillon à analyser sous un angle θ (figure III.6) et un détecteur reçoit le faisceau de rayons X diffracté par cet échantillon et enregistre l'intensité en fonction de l'angle de diffraction 2θ [28], est présenté dans Le schéma suivant :

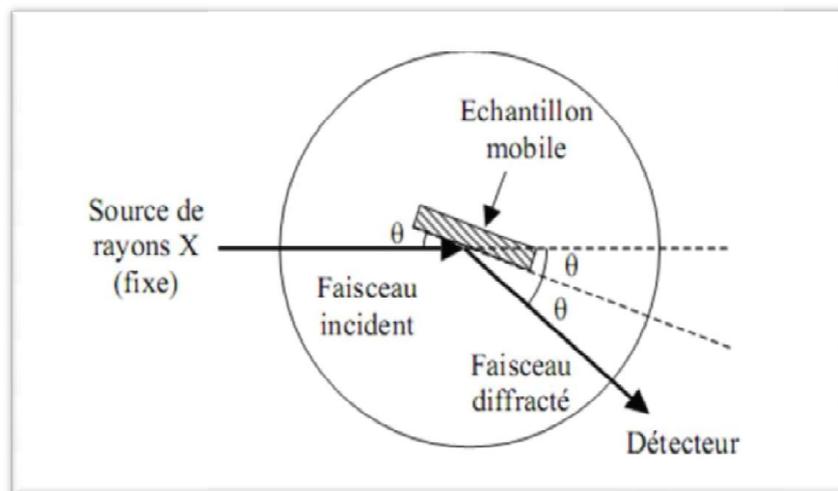


Figure III.6: Schéma montrant Le principe de travail du diffractomètre.

L'analyse des spectres de rayons X permet d'obtenir des informations sur :

- La ou les phases cristallines (position des pics);
- La taille des cristallites (largeur des pics à mi-hauteur);
- Les défauts d'empilement (forme de pics)
- L'orientation des cristallites (absence ou présence de réflexions).

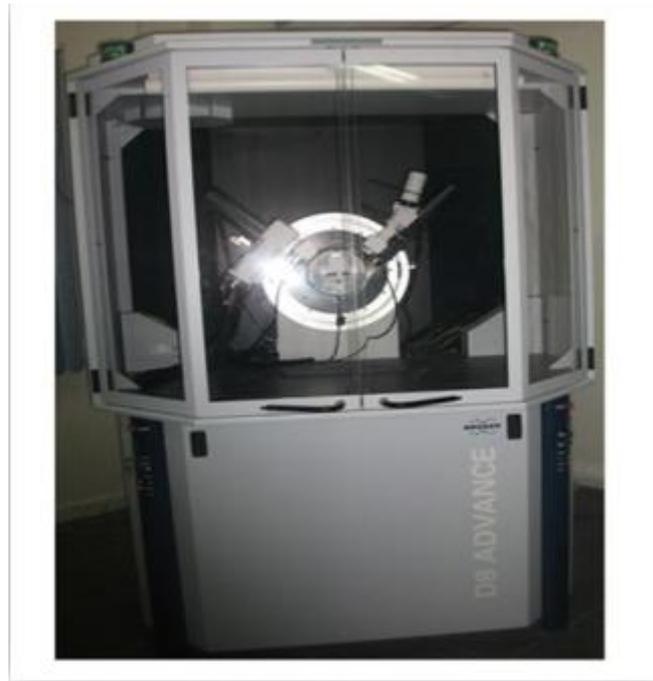


Figure III.7: Diffractomètre BRUKER D8 ADVANCE AXS (XRD).

Cette technique est donc particulièrement intéressante pour l'investigation structurale des matériaux poly cristallins.

Un matériau polycristalin est formé d'une multitude de grains, chacun d'entre eux étant en fait un monocristal constitué d'un empilement régulier d'atomes. Cet empilement peut être décrit par des ensembles de plans cristallins définis par une distance d_{hkl} qui dépend de indices de MILLER. Cette distance d_{hkl} est mesurable par la diffraction des rayons X grâce à la loi de BRAGG.

$$n\lambda = 2d_{hkl} \cdot \sin \theta.$$

Où :

n : 1,2,...ordre de la diffracté,

λ : la longueur d'onde du faisceau diffracté.

d_{hkl} : est la distance entre les plans cristallins parallèles.

θ : l'angle d'incidence du faisceau des Rayons X.

Dans le cas d'un matériau polycristalin constitué d'un très grand nombre de grains par rapport à la dimension du faisceau incident, il y aura toujours une famille de plans $\{hkl\}$ donnant lieu à une diffraction : on obtient donc simultanément les faisceaux susceptibles de diffraction sous forme de cônes de demi-angle au sommet 2θ (un cône par famille de plans $\{hkl\}$) [28].

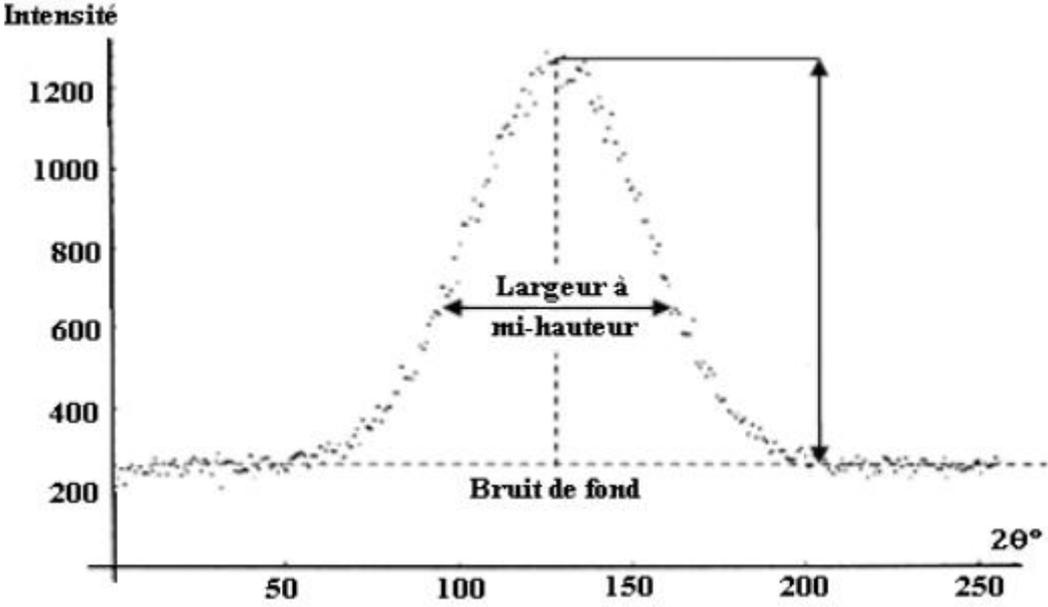


Figure III.8: Illustration d'un pic de diffraction [28].

Chapitre

IV

Dans ce chapitre, nous allons présenter : les résultats obtenus de l'étude morphologique de d'un acier BS2, avec l'influence de température et le temps de maintien sur les propriétés de ce métal.

IV.1. Etude micrographique :

IV.1.1. Microstructure du métal de base à l'état brut

La (figure IV.1) présente la microstructure de métal de base à l'état brut, elle constitué globalement une structure de ferrite et de perlite ; ferrite (la zone claire) et la perlite (la zone en noire). D'où la quantité de la phase ferrite est moindre que la quantité de la phase perlite

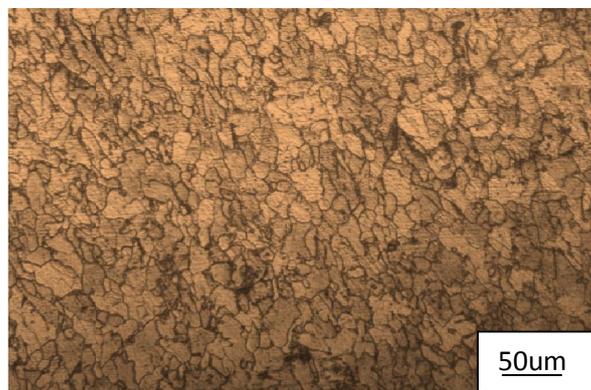


Figure IV.1 : Microstructure d'un acier BS2 à l'état brut

IV.1.2 Après traitement thermique :

L'objectif de cette partie d'étude est de présenter l'effet des traitements thermiques et le temps de maintien sur l'évolution microstructurale d'acier BS2, Pour cela on a appliquée des traitements thermiques à différentes températures (500, 700 et 900°C) pendant 30min et 1 heure.

IV.1.2.1. Etat de l'échantillon traité à T=500°C :

L'observation microscopique (fig. IV.2 a et 2b), par rapport à la comparaison avec l'état brut, nous a montré que la quantité de la phase perlite est augmentée contrairement à la phase ferrite qu'a était diminué.

Et on peut remarquer aussi qu'il y a un grossissement des grains lors d'augmentation de temps de maintien.

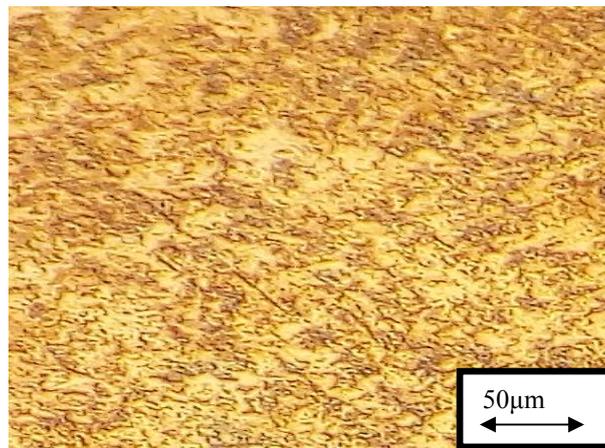
**a****b**

Figure IV.2 : Microstructure d'échantillons traité à $T=500^{\circ}\text{C}$; a) 30min, b) 1 h

IV.1.2.2. Etat de l'échantillon traité à $T=700^{\circ}\text{C}$:

L'observation microscopique (fig. IV.3a et 3a) nous a montré que la quantité de la phase perlite est encore augmentée contrairement à la phase ferrite qu'a été diminué, et le temps de maintien faire grossier les grains.

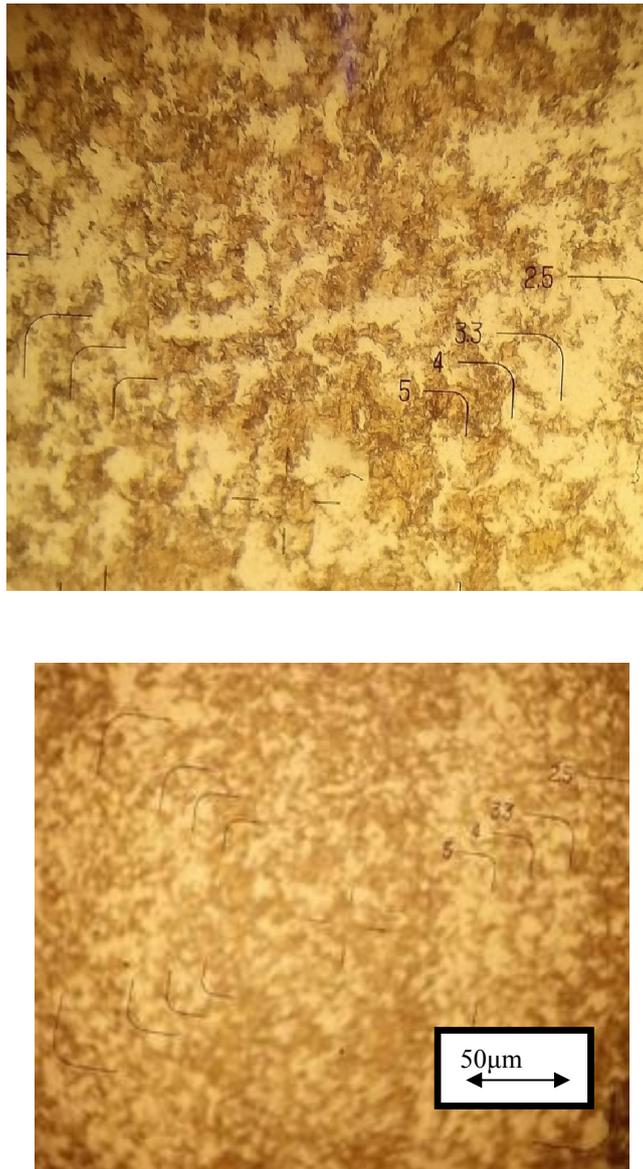


Figure IV.3 : Microstructure d'échantillon traité à $T= 700^{\circ}\text{C}$

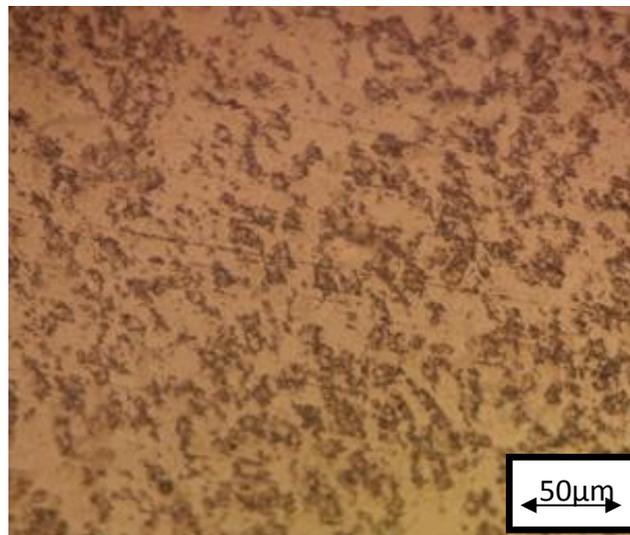
IV.1.2.3. Etat de l'échantillon traité à $T= 900^{\circ}\text{C}$:

L'observation microscopique nous a montré que la phase perlitique est augmenté, contrairement à la phase ferritique, qui disparaît presque et on peut remarque une formation d'une nouvelle phase dans ce domaine de traitement, c'est l'austénite. Et concernant le temps de maintien on peut remarquer aussi un grossissement des grains.

On remarque dans les figures (IV.2,3 et 4) précédentes que le traitement thermique et le temps de maintien de l'acier ont un effet très clair sur la morphologie ou bien la microstructure de ce métal.



a



b

Figure IV.4 : Microstructure d'échantillon traité à $T= 900^{\circ}\text{C}$; a) 30min, b)1h.

IV.2. Mesure de la microdureté :

La valeur de la microdureté de l'acier BS2 à l'état brut est de **167**. Et les résultats des mesures de la microdureté des échantillons traité à 500°C , 700°C et 900°C sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV.1. Les valeurs de la microdureté

Echantillon	500 °C	700°C	900°C
HV(t=30min)	184.63	171.26	161.3
HV (t=1h)	135.13	149.33	160.13

Par comparaison, la valeur de la microdureté de l'échantillon à l'état brut est inférieure à la valeur d'échantillon traité à 500°C ; c'est l'effet de la trempe.

La figure IV.5 représente la variation des valeurs de HV en fonction de la température au deux différents temps de maintien, on peut remarquer que la microdureté augmente au temps de maintien $t=30$ min, par contre elle diminue au temps de maintien de 1 h, et on peut remarquer aussi que la différence de HV pour chaque température (au $t_1=30$ min et $t_2=1$ h) diminué avec l'augmentation de la température (tableau IV.2). Ces valeurs montrent que à $T= 500$ et $700^\circ C$ la microdureté augmente ; cette augmentation liée à la présence de la phase cémentite qui est le responsable de durcissement. Et elle diminue à $T= 900^\circ C$ à cause de la disparition de la phase cémentite.

On peut conclure aussi que l'augmentation de temps de maintien subi une diminution de la microdureté à cause du grossissement des taille des grains.

Tableau IV.2 : La différence de valeurs de la microdureté pour chaque température.

T(°C)	500	700	900
HV ₂ -HV ₁	49.5	21.93	1.17

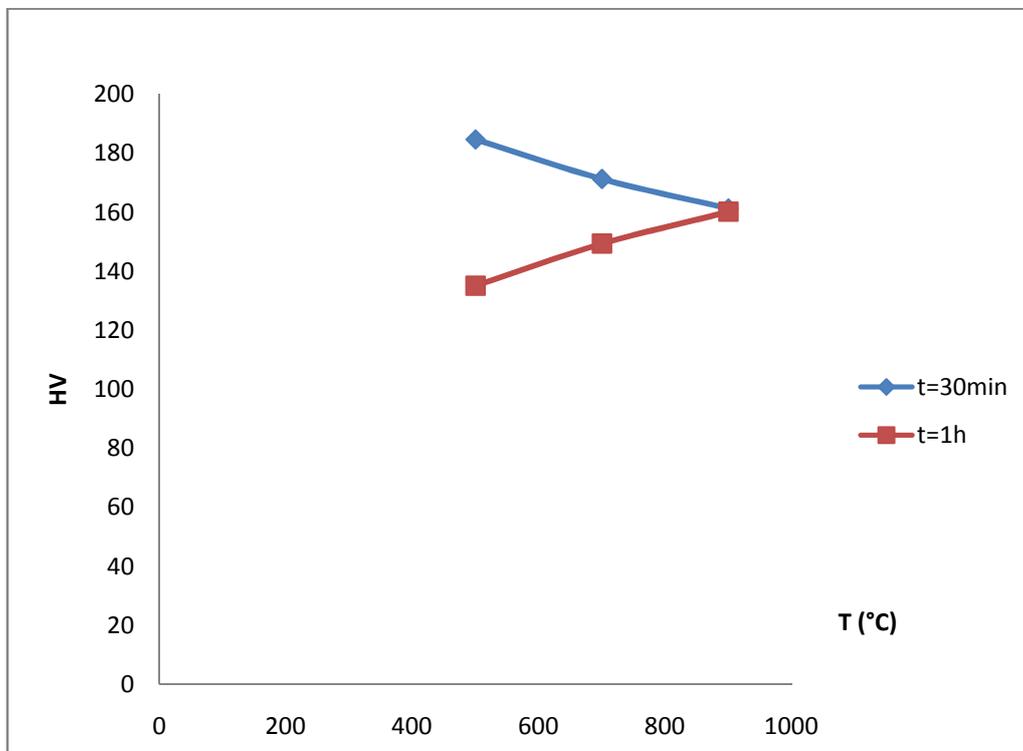


Figure IV.5 : la variation des valeurs de HV en fonction de la température

IV.3. Caractérisation des phases par la diffraction des rayons-x :

Dans cette partie d'étude, nous avons essayé d'effectuer des analyses par diffraction des rayons X sur la surface complète dans les échantillons (état brut et traité à 700°C) pour connaître la structure cristalline des grains.

IV.3.1. L'échantillon à état brut :

D'après la comparaison avec les fichiers d'ICDD, à l'état brut, on a observé les pics (110) et (211) de la structure cubique de la ferrite (α), le pic (111) de la structure cubique à face centrée de l'austénite (γ) et un pic qui illustre la phase cémentite, où le pic le plus intense est le pic (110).

Dans le cas de l'échantillon de l'acier SB2 recuit à 700°C pendant 1h, nous avons remarqué la présence des pics de la phase ferrite et la phase d'austénite, par comparaison avec l'état brut, avec une petite diminution des intensités des pics et la disparition du pic de la phase cémentite, nous avons observé un petit changement des formes des pics dus au grossissement des grains.

Nous avons remarqué qu'il ya un changement de l'intensité des pic ; ce qui montre que le traitement thermique a un effet sur les phases formées.

Et on peut remarquer aussi un décalage vers les petites angles de pics par rapport l'état brut ce résultats montrent que nous avons un gonflement de maille cristalline.

Les tableaux suivant (IV.3, et 4) illustrent les caractéristiques des pics les plus intenses telles que ; le plan (hkl) et la position (2θ), l'intensité des échantillons.

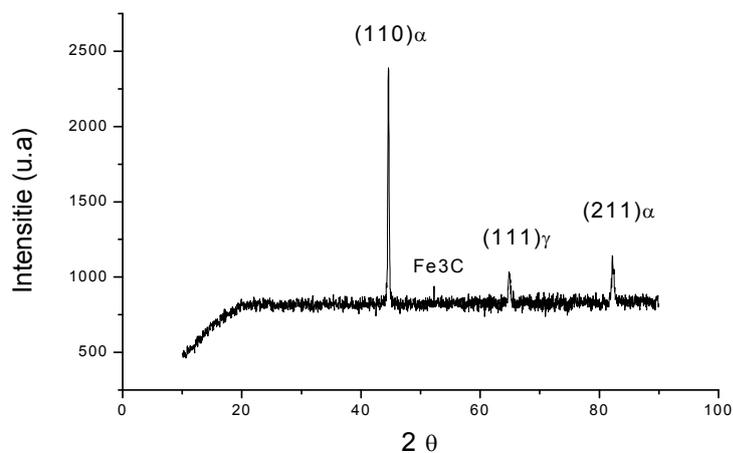


Figure IV.6 : Spectre de diffractogramme des rayons X de l'échantillon SB2 à état brut.

Tableau IV.2 : Les caractéristiques des pics de l'échantillon (état brut)

pic	2Tha	L'intensité	Hkl
1	45.325	100	(110) α
2	53.568	8.25	Fe ₃ C
3	65.872	12.5	(111) γ
4	82.965	25	(211) α

IV.3.2. l'échantillon d'un acier BS2 après traitement thermique :

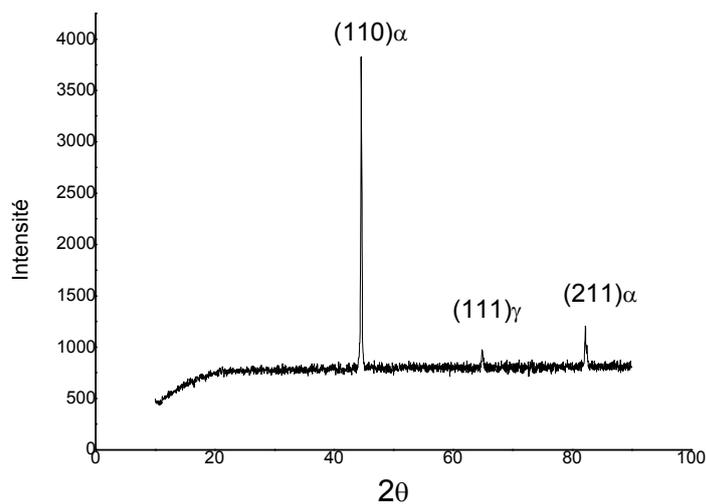


Figure IV.7 : Spectre de diffractogramme des rayons X de l'échantillon traité à T=700°C

Tableau IV.4 : Les caractéristiques des pics de l'échantillon traité à T=700°C

pic	2Tha	L'intensité	hkl
1	44.947	100	(110) α
2	65.109	4.66	(111) γ
3	82.872	8.77	(211) α

IV.3.3.détermination du paramètre cristallin (a) et la taille de grains**IV.3.3.1.le paramètre cristallin (a)**

Pour calculer le paramètre cristallin on a utilisé la loi de bragg

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

$$d = \frac{a}{\sqrt{(h^2 + k^2 + l^2)}}$$

λ : longueur d'onde = 1.54Å

θ : angle de bragg (au sommet de la raie)

d : distance interatomique

On utilise le pic le plus intense (110)

Tableau IV.5 : Paramètre cristallin

	Paramètre cristallin (a=b=c)
Etat brut	1.08273
T=700°C	1.08285

D'après le tableau IV.5, le paramètre cristallin de l'acier traité à 700°C est supérieur à celui de l'état brut, ce qui veut dire que la matrice subi un enrichissement.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire, traite essentiellement et sous différents aspects, le comportement métallurgique d'un acier faiblement allié et à faible pourcentage en carbone (0,19 %) après le traitement thermiques.

Dans ce cadre, plusieurs techniques de caractérisations ont été utilisées afin d'investiguer le comportement de ce métal comme l'observation microscopique, la diffraction des rayons X et mesure de la microdureté.

L'analyse des résultats expérimentaux obtenus a permis de tirer certains commentaires dont le plus important est cité ci après.

Avant le traitement thermique, nous avons remarqué que la microstructure de base du minerai était une combinaison de ferrite et de perlite. Ainsi, la phase ferrite est inférieure à la phase perlite.

Après le traitement thermique, nous avons constaté une augmentation de la quantité de phase de perlite, contrairement à la phase de ferrite, qui a également diminué, et nous avons également observé une augmentation du grain pendant la réservation(T). Par contre, une augmentation de la phase de perlite, contrairement à la phase de ferrite, et une nouvelle phase à 900 °c.

Le traitement thermique et le temps de maintien de l'acier ont un effet très évident sur la forme ou la structure du microscope en métal.

La microdureté de l'échantillon à l'état brut est inférieure par rapport à la valeur de l'échantillon traité à 500 ° C, c'est l'effet de la trempe.

Ces valeurs montrent que à T= 500 et 700° C la microdureté augmente ; cette augmentation liée à la présence de la phase cémentite qui est le responsable de durcissement. Et elle diminue à T= 900°C à cause de la disparition de la phase cémentite.

On peut conclure aussi que l'augmentation de temps de maintien subi une diminution de la microdureté à cause du grossissement des taille des grains.

Nous avons remarqué qu'il ya un changement de l'intensité des pic ; ce qui montre que le traitement thermique a un effet sur les phases formées.

Conclusion Générale

Et on peut remarquer aussi un décalage vers les petites angles de pics par rapport l'état brut ce résultats montrent que nous avons un gonflement de maille cristalline.

Références bibliographique

Références bibliographique

- [1] : Y. BARKAT ; « Etude comparative entre deux procédés de soudage des pipelines » ; Mémoire de Master ; Université De Mouhamed Kheider ; 2016.
- [2] :M. KADDOURI ; « Les effets des traitements thermiques sur les aciers de Construction des pipelines de pétrole (API5L- X60) » ; Mémoire de Master ; Université De Mouhamed Kheider ; 2017.
- [3] : H.LITEM, « caractérisation avec rayonnement X des Revêtements Durs Sur des Substrats en Acier », Mémoire de Master, Spécialité : Rayonnement, Spectroscopie et Optoélectronique, Univ Kasdi Merbah Ouargla, 2012.
- [4] : Fédération Française de l'Acier ; juillet 2012.
- [5] : G. MURRY, « Transformations dans les aciers, Techniques de l'ingénieur, traité Matériaux métalliques M1115 », Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
- [6] : <https://www.technologuepro.com/cours-materiaux-metalliques/chapitre-3-etude-du-diagramme-fer-carbone.pdf>.
- [7] : G. Murry, « Aide-mémoire Métallurgie 2e édition Métaux • Alliages • Propriétés, Dunod », Paris, 2004, 2010.
- [8] : K. SAADI ; « L'étude de l'effet thermique sur une soudure d'un pipeline » ; mémoire de master ; unive de biskra;2012.
- [9] : http://cte.univ-setif.dz/cours_enligne/hamidouche1/metaux.html.5\4\2016 15:32
- [10] : <https://fr.scribd.com/document/243951940/Acier-annexes1-pdf>.
- [11] : H. GAYE et P.-V .RIBOUD ; « Modèle d'optimisation physico-chimique et économique de l'enfournement en aciérie » ; Rev. De Métall . p. 131-136, CIT février 1982.
- [12] : M. Dupeux, « Aide-mémoire science des matériaux », DUNOD, Paris 2004.

Références bibliographique

- [13] : G. Murry, « Aciers Généralités, Techniques de l'ingénieur, traité Matériaux métalliques, M300 », Centre français d'exploitation 2002.
- [14] : <http://docs-avms.com/FICHES/20%20-%20Acier.pdf>.
- [15] : H. MAROUF ; « caractérisation structurale et mécanique du joint soudé de la Liaison bimétallique Acier Ordinaire E36/Acier anti-usureNAXTRA70 utilisé par L'unité Grue de Bejaia dans l'assemblage de la pelle chargeuse et godet d'excavation ».
- [16] : A.BOUDIAF, « Relation microstructure-comportement macroscopique dans les aciers : Effet de la taille de grain austénitique sur la plasticité de transformation », Thèse Doctorat, Specialite Mecanique des Matériaux, Ecole Militaire Polytechnique et Institut Nationaldes.
- [17] : D.TOUALBIA ; « cours de sciences des matériaux » ; Univ Souk Ahras ;(fichier PDF) pp45.
- [18] : N. GUELAI, F. BOUTERFIF ; « Comportements mécaniques Des aciers faiblement alliés avant et après cémentation » ; Mémoire de MASTER ; 2015/2016.
- [19] : K.ZOUAOUID; « Analyse avec Spectroscopie d'électron Auger de la réaction entre des couches minces en Chrome et des substrats en Acier » ; Mémoire de MASTER ACADEMIQUE ; Univ KASDI MERBAH OUARGLA ; 2011-2012.
- [20] : [http : //ptetoile.free.fr/](http://ptetoile.free.fr/) Traitements thermiques des aciers.
- [21] : A. ARFAOUI, A. CHAKER ; Matériaux métalliques isetkasserine ; Année 2009/2010.
- [22] : D. TOUALBIA, Cours De Sciences Des Matériaux, Destiné Aux Étudiants De La Deuxième Année Licence Sciences Et Technique, Option Génie Mécanique, Univ Mohamed Cherif Massaada Souk Ahras.
- [23] : « soudage des canalisation et installation conneses, segment canalisation Norme API 1104 », de uxième édition, septembre 1999.
- [24] : Z.MOUSSA, « influence des traitements thermiques sur la rupture fragile des constructions soudures, cas des soudures épaisses », thèse de doctorat, univ mentouri, constantine, 2009.

Références bibliographique

[25] : I. LAKHTINE, « Métallographie et traitements thermiques des métaux »; édition Mir Moscou, 1978.

[26] : N. AKILAL ; « Étude de la corrosion de la soudure de l'acier A33 utilisé en construction navale » ; diplôme de MAGISTER ; Univ Abderrahmane Mira de Béjaïa.

[27] : F. BOUNAB ; « Evolutions microstructurales Lors des traitements thermiques imposés à un acier faiblement allié (53MnSi4) » ; Mémoire de Master ; Univ De Mouhamed Kheider ; Biskra, 2012-2013.

[28] : S. KHAOULA «L'étude De L'effet Thermique Sur Une Soudure D'une Pipeline » ; Mémoire De Master En Génie Chimique; Univ De Mouhamed Kheider ; Biskra, 2012.

Résumé

L'objectif de cette étude est de connaître l'effet de la température sur les propriétés de l'acier BS2 faible pourcentage de carbone (0.19%). Différentes techniques ont été utilisées (diffraction des rayons-X, Microscopie optique, Mesure de la microdureté). Plusieurs traitements thermiques ont été appliqués pour obtenir une structure homogène et améliorer les propriétés du métal.

On peut conclure aussi que l'augmentation de temps de maintien subit une diminution de la microdureté à cause du grossissement des tailles des grains.

Mots clés : traitement thermique, microdureté.

ملخص

إن الهدف من هذه الدراسة هو معرفة تأثير درجة الحرارة على بنية وخواص للفولاذ BS2 المتكون من نسبة قليلة من الكربون (0.19%)، تم استعمال عدة تقنيات للدراسة (أشعة سينية، المجهر الضوئي و قياس الصلابة). تم تطبيق عدة معالجات حرارية للحصول على معدن أكثر تجانساً و تحسين خصائص المعدن.

يمكن أن نخلص أيضاً إلى أن الزيادة في وقت الحجز تنخفض في الصلابة الدقيقة بسبب زيادة حجم الحبوب.

الكلمات المفتاحية:

المعالجة الحرارية، الصلابة.

Abstract :

The objective of this study is to know the effect of temperature on the properties of BS2 steel low carbon percentage (0.19%). Various techniques have been used (X-ray diffraction, optical microscopy, microhardness measurement). Several heat treatments have been applied to obtain a homogeneous structure and improve the properties of the metal.

It can also be concluded that the increase in holding time has a decrease in microhardness due to the enlargement of the grain size.

Key words: heat treatment, microhardness.