

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : génie des matériaux

Par :

BARKAT Halim

KHALED Abderrahim

Thème

Influence des traitements thermiques sur les propriétés mécaniques d'un acier au manganèse utilisé pour la fabrication des marteaux de concasseurs

Devant le jury composé de:

Mr M.A.BRADAI

Président

Mr A.SAD-EDDINE

Rapporteur

Mr A. IDIR

Examineur

Mr S. KHIMA

Invité

Année Universitaire 2021-2022

Dédicaces

Dédicaces

On dédie ce travail a, nos très chers parents qui étaient toujours présents pour nous aider, conseillées, et surtout nous encouragées.

A nos frères et sœurs de nous avoïrs sans cesse soutenues et encouragées.

A nos amies : Ala, Tassaadit, Wissam, Wassim pour leurs aides.

Sans oublier nos amis de la promo génie des matériaux pour leurs encouragements.

Remerciements

Remerciements

Nous tenons à remercier Dieu qui nous a donné la santé, la volonté et la force d'accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier chaleureusement notre promoteur Mr SAD-EDDINE.

Nos vifs remerciements vont à Mr S.KHIMA, pour son aide, et ses orientations tout au long de ce travail.

Nous remercions Dr R.YOUNES d'avoir accepté de juger ce travail.

Nous adressons nos remerciements au Dr M.BRADAÏ de nous avoir fait l'honneur de présider le jury et d'évaluer ce travail.

Sans oublier les ingénieurs de laboratoire biologie de l'université de Béjaïa pour nous avoirs donnée accès sans conditions au labo.

On remercie aussi l'équipe du hall de technologie de L'université de Béjaïa en particulier Mr Salim.

Nous tenons à remercier également tous les enseignants qui ont contribué notre cycle de formation

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

Table des matières

Introduction Générale	11
Chapitre I	12
Recherche bibliographique	12
<i>Introduction</i>	2
<i>I.1 généralités sur les aciers</i>	2
I.1.1 Définition de l'acier	2
I.1.2 Propriétés des matériaux	2
I.1.2.1 Propriétés physiques.....	2
I.1.2.2 Propriétés mécaniques	2
I.1.3 Classification des aciers	3
I.1.3.1 Aciers non alliés d'usage général (70% des aciers)	3
I.1.3.2 Aciers spéciaux non alliés de type C	3
I.1.3.3 Aciers faiblement alliés	3
I.1.3.4 Aciers fortement alliés	3
I.1.4 Influence des éléments d'addition sur l'acier.....	4
I.1.4.1 Les éléments alphanéens :	5
I.1.4.2 Les éléments gamagènes :	5
I.1.4.3 Les éléments principaux d'addition et leur rôle :	5
I.1.5 Aciers au manganèse (hadfield)	6
I.1.5.1 Composition chimique	6
I.1.5.2 Propriétés de l'acier Hadfield	8
I.1.5.3 Domaines d'application acier Hadfield	9
I.1.6 Diagramme de phases fer-carbone	10
I.1.6.1 La ferrite α	11
I.1.6.2 L'austénite γ	12
I.1.6.3 La cémentite Fe_3C	12
I.1.6.4 La perlite	12
I.1.7 Diagramme Fer-manganèse	12
<i>I.2 Généralité sur les concasseurs</i>	13
I.2.1. Définition	13
I.2.2 Usage industriel.....	14
I.2.3 Types de concasseurs	14
I.2.3.1 Concasseur à mâchoires	14
I.2.3.2 Concasseur giratoire	15
I.2.3.3 Concasseur à cône	15
I.2.3.4 Concasseur à percussion.....	15
I.2.4 Choix du concasseur	15
Chapitre II	16
Influence du traitement thermique sur l'acier	16
<i>Introduction</i>	16
<i>II.1 Traitements thermiques</i>	16
II.1.1 Définition et but des traitements thermiques	16
II.1.2 L'austénitisation	17
II.1.3 Trempe :	17

II.1.4 Revenu.....	18
II.1.5 Recuit.....	19
II.2 Transformations de phases dans les aciers.....	19
II.2.1 Transformation au cours de chauffage (austénitisation).....	19
II.2.1.1 Croissance du grain d'austénite au chauffage.....	19
II.2.1.2 Influence de la grosseur du grain sur les propriétés de l'acier.....	20
II.2.2 Transformations au cours de refroidissement.....	20
II.2.2.1 Transformation par diffusion.....	20
II.2.2.2 Transformation par cisaillement ou transformation martensitique :.....	20
II.2.2.3 Transformation intermédiaires.....	21
II.2.2.4 Influence de la vitesse de refroidissement sur les transformations de phases :.....	21
II.2.3 Structure cristallographique :.....	22
II.2.3.1 De l'austénite.....	22
II.2.3.2 De la martensite.....	22
Chapitre III : Procèdes expérimentale	23
<i>Introduction</i>	<i>24</i>
III.1 Matériaux utilisés.....	24
III.1.1 Présentation du matériau.....	24
III.1.2 Elaboration des échantillons.....	24
III.1.2.1 Préparation des pièces.....	24
III.1.2.2 Le fraisage.....	25
III.1.2.2.1 Préparation de la machine.....	25
III.1.2.2.2 Présentation de la machine (fraiseuse).....	26
III.1.2.2.3 Usinage.....	26
III.2 Traitements thermiques.....	27
III.3 Le polissage.....	27
III.4. Techniques de caractérisation.....	28
III.4.1. Microscope optique.....	28
III.4.2. Essai de dureté (Rockwell).....	28
Chapitre IV	29
Résultats et discussions	29
<i>Introduction</i>	<i>28</i>
IV.1 Analyses microstructurales au microscope optique (MO).....	28
IV.2 Discussion sur les résultats obtenus par l'essai de dureté Rockwell.....	31
Conclusions	34

Liste des figures

Figure I.1 : Diagramme Fer-Carbone- Influence de l'addition d'éléments gamagènes.

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

Figure I.3 : diagramme de phase fer-carbone.

Figure I.4 : Diagramme d'équilibre des aciers à 13%Mn.

Figure I.5 : une image d'un concasseur.

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

Figure II.2 : Cycle de trempe.

Figure II.3. Représentation schématique simplifiée du mécanisme de la transformation martensitique du fer.

Figure II.4 : Structure de l'austénite et de la martensite α' dans les aciers.

Figure III.1: Macro Scie disponible au niveau du hall de technologie du département génie mécanique.

Figure III.2 : fraiseuse conventionnelle FH 1.6 utilisé.

Figure III.3: fraiseuse conventionnelle FH 1.6 utilisé disponible au niveau du hall de technologie du département génie mécanique.

Figure III.4 : Échantillon en cours d'usinage.

Figure III.5 : Four électrique disponible au laboratoire Fonderie du département génie mécanique au niveau du hall de technologie.

Figure III.6: Appareille de polissage.

Figure III.7 : microscope optique.

Figure III.8 : Machine de dureté universelle Brinell, Vickers et Rockwell.

Figure IV.1 : Microstructure de la pièce brute de livraison dite "témoin".

Figure IV.2 : Microstructures des différents échantillons traités. (E) refroidis à l'eau, (EG) refroidis à l'eau glacée.

Figure IV.3 : Dureté Rockwell des différents échantillons. **E)** trempés à l'eau, **EG)** trempés à l'eau glacée.

Figure IV.4 : Histogramme comparatif des valeurs de dureté (Rockwell).

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Composition chimique de l'acier Hadfield.

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

Tableau I.3: Domaine d'utilisation des aciers au manganèse.

Tableau I.4 : Taux de réduction typiques des concasseurs utilisés pour le concassage.

Tableau III.1 : Composition chimique de l'acier Hadfield.

Introduction Générale

Introduction Générale

L'acier au manganèse inventé par Sir Robert Hadfield en 1882 contient environ 1,2% C et 12% Mn, il a une structure cubique à face centrée. Ce type d'acier combine une ductilité et une dureté élevée avec une bonne résistance à l'usure. Le carbone encourage le durcissement de l'alliage par précipitation et le manganèse améliore les propriétés mécaniques à des températures élevées. L'acier austénitique au manganèse est encore largement utilisé, avec de légères modifications dans la composition. Des travaux récents ont proposé qu'une augmentation des proportions du Manganèse entre 5 et 10% et du carbone entre 0.1 à 0.2% conduise à une amélioration des propriétés mécaniques. [1]

Les aciers au manganèse sont très utilisés dans les fonderies. Néanmoins, ils ne peuvent pas être utilisés à l'état brut de coulée à cause de la présence d'excès des carbures du manganèse et du chrome qui les fragilisent; en effet, la précipitation des carbures aux joints de grains favorise la propagation de microfissures. [2]

L'objectif de cette étude est de traiter ces types d'acier par voie thermique et mécanique afin d'avoir un acier qui serait adéquats à plusieurs applications industrielles. Dans ce travail, nous avons réalisé une caractérisation microstructurale de ces aciers, nous avons étudié par la suite l'influence du traitement thermique et mécanique sur leurs propriétés. Des traitements thermiques d'austénitisation et d'hypertrempe (eau et eau glacé) ont été effectués sur les 10 échantillons à des températures d'austénitisation différentes de 1000°C, 1025°C, 1050°C, 1075°C, 1100°C. A travers ces traitements, nous avons mis en évidence l'influence des températures d'austénitisations et les facteurs temps de maintien dans le four et la dimension de la pièce sur la solubilité des carbures.

Ce mémoire est donc structuré comme suit :

- Le premier chapitre décrit les généralités sur les concasseurs, un rappel théorique sur les aciers en général, diagramme fer-carbone et la description de l'acier étudié.
- Le deuxième chapitre est consacré principalement sur l'influence des différents traitements thermiques et les différentes transformations de phase.
- Le troisième chapitre expose quelques études expérimentales, les essais et les tests que nous avons effectués.
- Le quatrième chapitre nous exposerons les résultats obtenus et leurs discussions. Et nous terminerons par une conclusion générale.

Chapitre I

Recherche bibliographique

Introduction

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.

Les aciers au carbone sont les plus utilisés dans l'industrie. en raison de leurs excellentes propriétés physiques et chimiques. [3]

I.1 Généralités sur les aciers

I.1.1 Définition de l'acier

L'acier est un alliage métallique composé principalement de fer et de carbone, dans les proportions comprises entre 0.02% et 2% en masse de carbone, il contient aussi une concentration appréciable d'autres éléments (Mn, Cr, S...). Il existe des milliers d'alliages de ce type dont la composition est différente de même que les traitements qu'ils ont subis.

I.1.2 Propriétés des matériaux

I.1.2.1 Propriétés physiques

La couleur, la masse volumique, le point de fusion, conductibilité et le coefficient thermique de dilatation (notée, (unité $\alpha = 10^{-6} \cdot K^{-1}$) est l'aptitude d'un matériau soumis à une variation de température à se dilater ou à se contracter).

Il est important de connaître le point de fusion des métaux pour pouvoir le traiter à chaud afin d'obtenir les éléments coulés. La dilatation produite par l'échauffement est caractérisée par le coefficient de dilatation linéaire ou volumique, ces coefficients sont pris en compte lors de toute étude de construction métallique puisque des désordres peuvent survenir à la suite d'une variation de température. [4]

I.1.2.2 Propriétés mécaniques

Parmi les résistances mécaniques on peut citer : la résistance mécanique, la dureté, la résilience et la fatigue.

- La résistance mécanique est la capacité d'un métal de résister aux efforts extérieurs, suivant la nature de ces efforts on distingue : la résistance à la traction, à la compression et à la torsion qui sont caractérisées par les charges limites par lesquelles le métal se rompt.

- La dureté d'un métal détermine son pouvoir de résister à l'enfoncement d'une bille en acier ou d'un cône.
- La résilience est caractérisée par la quantité de travail nécessaire à la rupture d'une éprouvette subissant des chocs.
- La fatigue est la propriété de soumettre un métal aux effets alternés, répétés et conjugués d'efforts externes (statique ou dynamique).

I.1.3 Classification des aciers

I.1.3.1 Aciers non alliés d'usage général (70% des aciers)

Ils forment presque 70% des aciers dans l'industrie, qu'ils sont caractérisés par une faible teneur en carbone désignés par une lettre (S, E) représentant la classe (S : acier d'usage général de base), (E : utilisé dans la construction mécanique), suivie de la limite élastique à la traction en MPa ou N/mm² et d'indications complémentaires (S : soudable. M : moulable il s'agit d'un acier moulé la désignation est précédée de la lettre G. [5]

I.1.3.2 Aciers spéciaux non alliés de type C

Les aciers spéciaux sont des matériaux Destinés aux traitements thermiques (trempe et revenu...). Le traitement thermique donne accès aciers des propriétés d'emploi très performantes, la majorité est disponible sous forme dé laminés marchands aux dimensions normalisées.

Désignation : lettre C suivie du pourcentage de carbone multiplié par 100 plus des indications complémentaires.

I.1.3.3 Aciers faiblement alliés

Pour ces aciers, aucun élément d'addition dépasse 5%, ils sont choisis chaque fois qu'une haute résistance est exigée, ils sont utilisés en état de livraison ou avec traitement.

Désignation : pourcentage de carbone multiplié par 100, suivi des symboles chimiques des principaux éléments d'additions classés en ordre décroissant. Les pourcentages de ces éléments multipliés par 4, 10,100.

I.1.3.4 Aciers fortement alliés

Ils sont destinés à des usages particuliers, pour ces aciers au moins un élément d'addition dépasse la teneur de 5%.

Désignation : lettre X, symbolisant la famille suivie des mêmes indications que pour les aciers faiblement alliés, la seule différence avec les aciers fortement alliés et pas de coefficient multiplicateur pour le pourcentage des éléments d'addition. Ces aciers sont réservés à des usages

particuliers, par exemple dans un milieu humide, on utilisera un acier inoxydable qui est un acier fortement allié avec du chrome ($\% > 11\%$).

I.1.4 Influence des éléments d'addition sur l'acier

Tous les aciers industriels contiennent, outre le carbone, d'autres éléments qui sont, soit résiduels non éliminés au cours de l'élaboration du métal, soit des éléments résultant d'additions faites volontairement. Ces éléments agissent sur les points de transformation de l'acier et sur la vitesse à laquelle se transforme l'austénite au cours du refroidissement. Ils exercent un effet de stabilisation plus ou moins marqué des phases cubiques à faces centrées et cubique centrée. Ils agissent donc sur la structure des aciers et modifient largement leurs Propriétés, ce qui élargit largement le champ d'application de ces matériaux. Figure (I.1)

L'introduction d'éléments d'addition peut produire les effets suivants sur le diagramme Fe-C :

- Conformément à la règle des phases, le nombre de phases susceptibles d'être en Équilibre n'est plus limité à deux ;
- La température et la composition correspondant à l'eutectoïde peuvent être modifiées.

L'influence des éléments d'alliage, susceptibles d'être introduits dans les aciers, doit être étudiée en fonction divers paramètres :

- Leur solubilité ;
- Leur action sur les structures d'équilibre ;
- Leur aptitude à former certains composés (carbures, nitrures, oxydes, sulfures et Intermétalliques) ;
- Leur action sur les transformations hors équilibre.

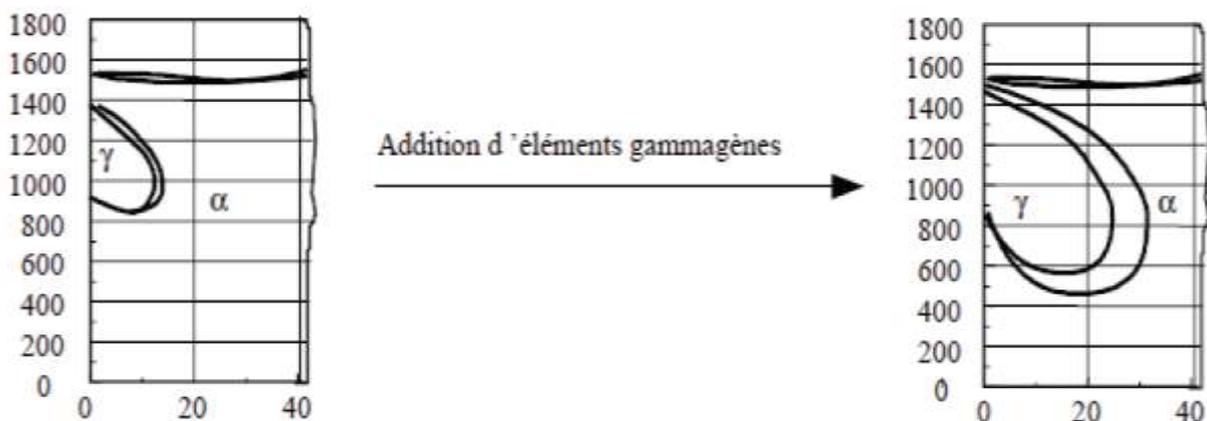


Figure I.1 : Diagramme Fer-Carbone- Influence de l'addition d'éléments gammagènes. [6]

I.1.4.1 Les éléments alphanagènes :

Tel que le chrome, le molybdène, le titane, le silicium, et le niobium favorisent la formation et la stabilité d'une structure cristallographique cubique centrée comme la ferrite δ .

I.1.4.2 Les éléments gamagènes :

Tel que le Nickel, le manganèse, le carbone et l'azote favorisent la formation et la stabilité d'une structure cristallographique cubique à faces centrée comme l'austénite γ au détriment de la ferrite.

I.1.4.3 Les éléments principaux d'addition et leur rôle :

Le chrome (Cr)

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

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

Le molybdène (Mo)

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

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

Le nickel (Ni)

Au-delà de 6% à 8%, sa présence se traduit par un effet gamagène et l'acier devient austénitique à toutes températures. Il élargit ainsi le domaine d'existence de l'austénite. Il favorise la mise en œuvre par déformation plastique, améliore la résistance à la corrosion, en particulier la résistance à la corrosion sous tension, il affine le grain et améliore la ductilité.

Le nickel a une influence favorable sur la trempabilité, la résistance au choc et la ténacité des calamines.

Le manganèse (Mn)

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

Le carbone (C)

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

I.1.5 Aciers au manganèse (hadfield)

C'est un matériau qui est bien connu pour sa haute dureté en cours de service et son grand taux d'érouissage. C'est l'un des excellents matériaux résistants à l'usure qui a couramment été employé pendant les cent dernières années. Grace à ces propriétés, cet acier est sollicité pour une utilisation accrue dans des applications industrielles telles que les marteaux d'impact, les mâchoires de broyeur, les bandes de roulement de chenille, les rails et les aiguillages de chemin de fer.

I.1.5.1 Composition chimique

Le manganèse et le carbone sont les principaux éléments d'alliage d'un acier austénitique au manganèse, dont la composition chimique est donnée par le (tableau I.1).

Ils assurent la formation de la phase austénitique cubique à face centrées (CFC), gamma 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%.

Les autres éléments d'alliage peuvent être rajoutés pour les raisons suivantes :

- Obtenir un durcissement de la solution solide gamma par précipitation.
- Améliorer la résistance à l'usure.

- Augmenter la stabilité de l'austénite, retarder la décomposition de ce dernier durant la déformation plastique ou un abaissement de température.

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

Tableau I.1 : Composition chimique de l'acier Hadfield

Ces aciers n'ont pas une dureté élevée, mais ils possèdent une aptitude remarquable à s'écrouir sous l'effet de faibles déformations plastiques. Ils ont de ce fait, une très bonne tenue au frottement, convenablement traitée, ils sont très peu fragiles. Leur haute aptitude à s'écrouir, les empêche d'être usinable et ils peuvent être mis en forme que par moulage et rectification. Après coulée, ils sont constitués d'austénite et de carbure, qui se précipite aux joints de grains en modifiant la résistance et la ductilité.

Les aciers austénitiques au manganèse conviennent pour des pièces de frottement (rails de chemins de fer, godets d'excavateur, mâchoires de concasseur...). L'acier le plus connu de cette catégorie est l'acier Hadfield de désignation normalisée X120Mn12 de nuance.

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 :

$$Mn_{eq} = (\%Mn) + 13(\%C) \geq 17 \quad (I.1) \quad [7]$$

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 les 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 conditions '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 d'hypertrempe quelle que soit la vitesse de refroidissement de l'alliage au moment de son élaboration, des carbures forment dès que la teneur en carbone atteint 1%, rendant le traitement thermique d'hypertrempe nécessaire.

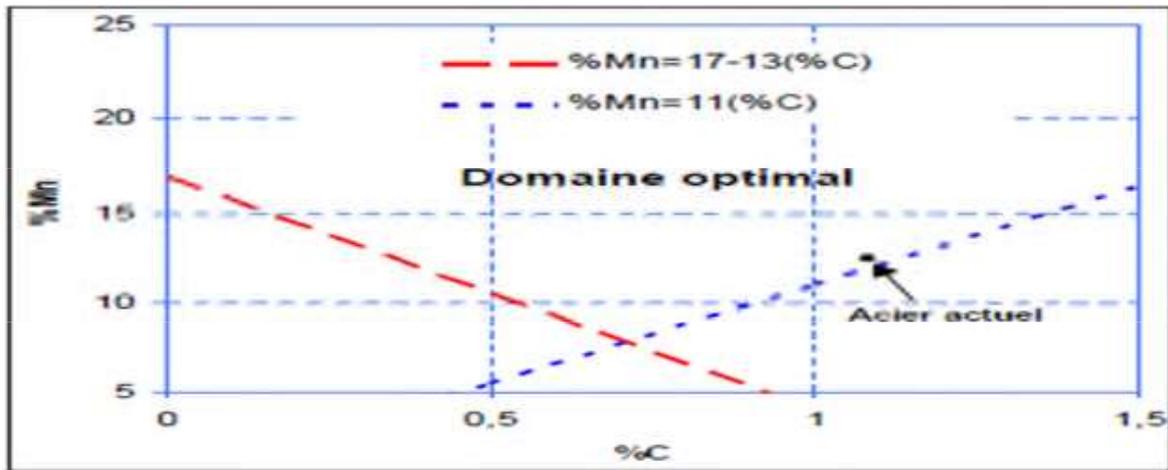


Figure I.2 : Domaine de composition optimale selon les équations (I.1) et (I.2) des aciers Hadfield. [8]

I.1.5.2 Propriétés de l'acier Hadfield

En raison de ses propriétés acier austénitique ne pouvait pas être traitée par des outils de coupe, car il a une viscosité élevée. Seul le moulage peut convenir à la fabrication de produits fabriqués à partir de ce matériau.

Hadfield allie à une forte capacité d'érouissage, ce qui est nettement supérieur à celui des alliages d'acier de façon semblable. Acier austénitique a une faible dureté, résistance à l'usure, mais aussi à l'impact, gouttes à haute pression et de température.

La conductivité thermique de l'austénite est nettement plus faible que celle des autres aciers, 4-6 fois. Le coefficient de dilatation thermique est beaucoup plus que celle des aciers à faible carbone – à 1,9 fois. Ce sont des caractéristiques très importantes du métal, de sorte que l'effet sur la possibilité de fissuration à froid dans l'exposition de la température.

Il y a une forte probabilité et la fissuration à chaud en raison du retrait de l'alliage de coulée, ce qui est 1,6 fois plus de métal pauvre en carbone. La température élevée transforme la structure austénitique à martensitique, ce qui augmente le risque de fissures dans la zone de températures élevées.

Après un traitement thermique d'hypertrempe(TTH), à la température ambiante, les aciers Hadfield présentent une structure austénitique cubique à faces contrées. Traitement thermique garantit l'obtention d'une structure austénitique propre sans précipité, le traitement thermique a pour effet de dissoudre et mettre en solution des éléments carburières et d'éviter la formation de carbures au joints de grains qui fragiliseraient la pièce.

Les propriétés physiques de cet acier sont données par le tableau suivant :

Points de fusion	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

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

I.1.5.3 Domaines d'application acier Hadfield

En raison de sa composition chimique, les caractéristiques et les caractéristiques de l'austénite est utilisé dans de nombreuses industries. L'utilisation de produits en acier, vous pouvez être sûr de leur fiabilité et la meilleure durabilité.

Acier résistant à l'usure est un matériau populaire. Un grand nombre d'industries qui produisent des produits à haute résistance, acier utilisé Hadfield. Les produits suivants sont produits à partir de cet alliage:

NUANCES F.A.R	Caractéristiques technologiques	Dureté	Types de pièces conseillées
		En service HV.	
Mn 12	Acier pour grosse pièces d'épaisseur supérieur à 150mm, soumise à chocs violents et pour pièces qui exige une ténacité élevée.	500	Marteaux de broyeurs à ferrailles Grosses mâchoires.
MnCr 12.2	Acier pour toutes pièces d'emploi normal.	600	-mâchoires – marteaux -cônes et mâchoires pour concasseurs giratoires – rouleaux - Écrans de chocs.
MnX50	Aciers de nouvelle conception, résultat des laboratoires de recherche,		Marteaux - plans de chocs - mâchoires - cône

	développement et expérimentation FAR, les meilleures anti usure, écrouissage et résistance aux impacts et/ou déformation des manganèses communs, résumer et optimisé dans matériel inique et universel avec grande performance dans les plus variées applications.	700	giratoire - manteaux - écrans de chocs - etc.
MnMo 6.1	Acier qui obtient les plus hautes valeurs de dureté superficielle par écrouissage dans les emplois à faible énergie de chocs, indiqué pour le broyage de matériau friable et de petite taille.		Cônes et mâchoires pour concasseurs giratoire secondaires et tertiaires, mâchoires et marteaux pour emplois.
MnCr 18.2	Acier qui a de très bonne caractéristique anti usure et de résistance aux déformations.	600	Percuteurs primaires et secondaire, mâchoires, cônes.
MnCr 20.3	Acier qui a d'excellentes qualités anti-usure pour emploi spécifiques et une résistance maximale contre l'usure par rayonnage, il associe des propriétés mécaniques élevées à une durée maximale.	600	Marteaux pour installations de recycling, cônes et mâchoires pour concasseurs giratoires, pièces soumises à usure par abrasion et rayage.
MnNi 12.2	Acier austénitique as-cast pour pièces de petites épaisseurs et peu soumises à chocs.	600	Plaques de blindage.

Tableau I.3: Domaine d'utilisation des aciers au manganèse [9]

I.1.6 Diagramme de phases fer-carbone

Le diagramme fer-carbone est le plus important de tous les systèmes d'alliages binaires. Les matériaux structuraux essentiels dans toutes sociétés technologiquement avancées sont les

aciers et les fontes qui se composent d'un alliage fer-carbone. La présente section est axée sur l'étude du diagramme d'équilibre microstructures possibles.

Le diagramme d'équilibre (figure I.3) est obtenu à partir des courbes de refroidissement des différents alliages de fer et de carbone. Dans la courbe de refroidissement, chaque changement d'état de structures cristallines ou de solubilités apparaît comme une discontinuité. Lorsqu'on définit les traitements thermiques, particulièrement les températures de traitement ; il est important de connaître les températures de transformations.

La ligne HJK, correspond à la transformation eutectoïde. Lorsque l'alliage refroidit, il traverse cette ligne. À ce moment, la solution solide de fer gamma, (austénite), se transforme en solution solide de fer alpha, (ferrite). Puisque la solubilité maximum du carbone passe de 2 % dans le fer gamma à 0,025 % dans le fer alpha, il y a rejet de carbone sous forme de cémentite. Donc lors du passage de la ligne HJK, l'austénite se transforme en perlite (agrégat de ferrite et de cémentite). Si on désire modifier la microstructure (et ainsi les propriétés mécaniques) de l'alliage, on doit modifier les transformations qui surviennent normalement dans l'alliage.

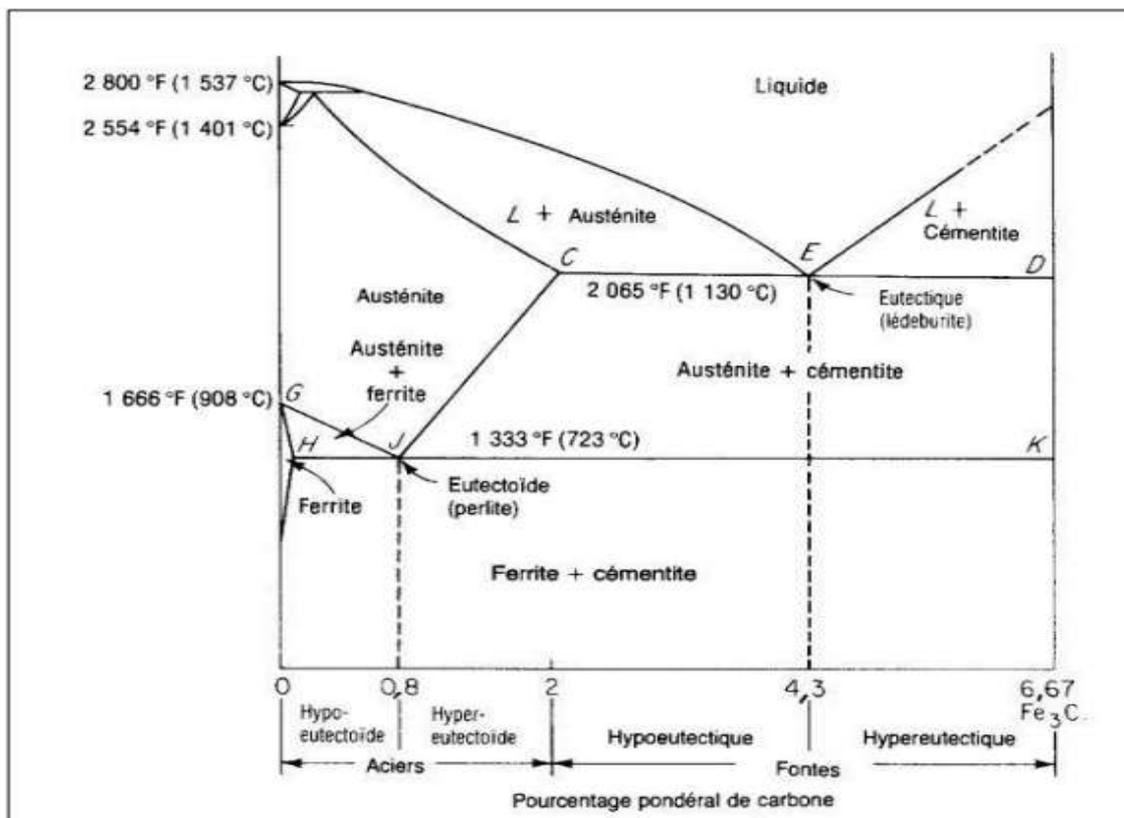


Figure I.3 : diagramme de phase fer-carbone

I.1.6.1 La ferrite α

La quantité de carbone est trop petite dans ce dernier. La solution solide de carbone dans le fer alpha est appelée la ferrite. A 727°C, cette phase contient au maximum 0,022% de carbone.

La teneur en carbone dans la ferrite tend vers zéro à 912°C. La quantité de carbone diminue quand la ferrite est refroidie à la température ambiante. La structure ferritique est cubique centrée et à la fois ductile et tenace. Toutes les fontes et les aciers contiennent de la ferrite, cette phase comporte la même quantité de carbone, quelle que soit la teneur en carbone de l'acier ou de la fonte. La formation de cette ferrite commence dès qu'un acier ou une fonte est refroidie en dessous de 727°C.

I.1.6.2 L'austénite γ

L'austénite est une solution solide de carbone dans le fer γ . Cette phase est stable entre 727°C et 1538°C. À $T=1147^\circ\text{C}$ le fer peut dissoudre jusqu'à 2.14% de carbone. L'austénite est cubique à faces centrées. Elle ne se forme pas à température ambiante, mais elle se localise à haute température, c'est un domaine important pour effectuer les traitements thermiques des aciers.

I.1.6.3 La cémentite Fe_3C

La cémentite pure (carbure de fer) a la formule moléculaire Fe_3C . La concentration forte en carbone (jusqu'à 6,70%) augmente la dureté et la fragilité.

I.1.6.4 La perlite

La combinaison de ferrite et de cémentite donne la perlite. Ces deux phases se trouvent en couches alternées dans la microstructure, la perlite pure se forme à 727°C et contient 0.76% de carbone.

I.1.7 Diagramme Fer-manganèse

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 éléments présents dans l'alliage ont un caractère α -gène ou γ -gène. Parmi les éléments γ -gènes, outre le manganèse, on trouve le nickel, le carbone, le cuivre et l'azote. Parmi les éléments α -gènes, outre le chrome, on trouve le silicium et le molybdène, le niobium, le titane et le tungstène sont des éléments réputés carburigènes.

Ces aciers sont constitués en majeure partie d'austénite métastable. En effet, comme le montre la figure (Figure I.4), on ne peut retrouver à la température ambiante 100% d'austénite qu'après un refroidissement rapide. Dans le cas d'un refroidissement insuffisamment rapide, on voit que la structure sera constituée de cémentite-ferrite-austénite ou cémentite-ferrite la teneur en carbone de l'alliage, suivant son degré de stabilité, fixé par sa composition chimique, l'austénite peut se transformer partiellement en martensite α lorsque le matériau est soumis à un écrouissage suffisant ou à un abaissement de la température. La formation de la martensite α (structure

cubique à face centré) ne se fait pas en général directement à partir de l'austénite, mais par l'intermédiaire de la formation préalable de martensite ϵ à structure hexagonale qui compacte contrairement à la martensite α n'est pas ferromagnétique.

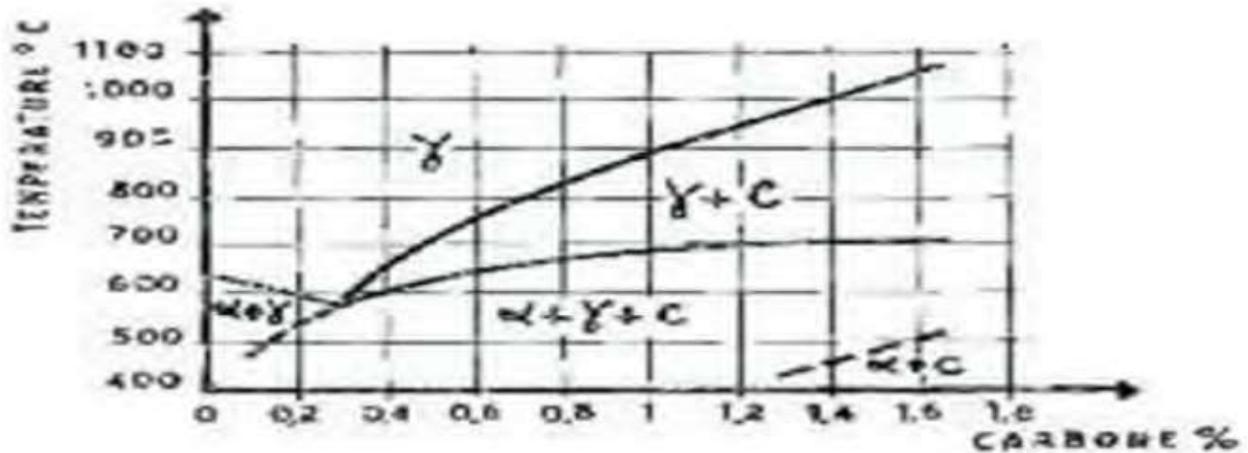


Figure I.4 : Diagramme d'équilibre des aciers à 13%Mn. [10]

I.2 Généralité sur les concasseurs

I.2.1. Définition

Un concasseur est une machine conçue pour réduire les grosses roches en petites pierres, gravier, ou poussière de roche. Les concasseurs peuvent être utilisés pour réduire la taille ou changer la forme des déchets afin qu'ils puissent être plus facilement éliminés ou recyclés. Ils peuvent également réduire la taille d'un mélange solide de matières premières (comme le minerai), de sorte que ses différents composants puissent être séparés.



Figure I.5 : concasseur

Le concassage est le processus d'application d'une force, amplifiée par avantage mécanique, à l'aide d'un matériau dont les molécules sont liées plus solidement et résistent mieux à la déformation que celles du matériau à concasser.[pas clair] Les appareils de concassage retiennent le matériau entre deux surfaces solides parallèles ou tangentes, et appliquent une force suffisante pour rapprocher ces surfaces, générant suffisamment d'énergie dans le matériau pour que les molécules se séparent (fracturation), ou changent d'alignement les unes avec les autres (déformation).

Les premiers concasseurs étaient des pierres, frappées contre une enclume de pierre, le poids de la pierre aidant la force musculaire. Les meules et les mortiers sont des appareils de concassage de ce type.

I.2.2 Usage industriel

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

I.2.3 Types de concasseurs

Il existe des concasseurs de technologie différente, les plus fréquents sont cités ci-dessous :

I.2.3.1 Concasseur à mâchoires

Le concasseur à mâchoire est une machine à broyer des roches (granite, calcaire, etc.) généralement à des fins industrielles, Il reste de très loin le concasseur le plus populaire dans le monde, grâce à sa conception rudimentaire, sa fiabilité, sa maintenance peu coûteuse et ne nécessitant pas de grandes notions d'ingénierie.

I.2.3.2 Concasseur giratoire

Le principe du concasseur giratoire est semblable à celui du concasseur à mâchoires, mais il est composé d'une surface concave et d'une tête conique. Les deux surfaces sont généralement doublées avec des pièces en acier au manganèse. Le cône interne a un léger mouvement circulaire, mais ne tourne pas, le mouvement est généré par un excentrique. Comme avec le concasseur à mâchoires, le matériau chute entre les deux surfaces en étant progressivement écrasé jusqu'à ce qu'il soit assez petit pour tomber dans l'espace entre les deux surfaces.

I.2.3.3 Concasseur à cône

Un concasseur à cône ou concasseur conique a un fonctionnement similaire au concasseur giratoire, avec moins de pente dans la chambre de cassage et une plus grande zone parallèle entre les zones de concassage.

I.2.3.4 Concasseur à percussion

Le concasseur à percussion appelé aussi concasseur à marteau peut être à axe horizontal ou vertical.

I.2.4 Choix du concasseur

Les critères de sélection d'un concasseur sont :

- la nature et les caractéristiques de la matière à concasser.
- le taux de réduction des concasseurs: c.à.d. le taux existant

Entre la plus grande dimension linéaire de la matière avant concassage et la plus grande dimension linéaire après concassage. Le taux de réduction relativement bas des différents types de concasseurs constitue souvent un problème.

On trouve ci-après les taux de réduction typiques des concasseurs utilisés pour le concassage des Matières premières du ciment :

Type de concasseur	Taux de réduction type
Concasseur à mâchoires	4 :1
Concasseur giratoire	7 :1
Concasseur à cônes	3 :1

Tableau I.4 : Taux de réduction typiques des concasseurs utilisés pour le concassage.

Chapitre II

Influence du traitement thermique sur l'acier

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. Pour ces raisons, le choix d'un traitement thermique suscite souvent plusieurs contradictions, les solutions sont souvent multiples et le choix du traitement thermique pour une gamme de fabrication est d'une importance capitale.

II.1 Traitements thermiques

II.1.1 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 appliqués à des alliages métalliques à l'état solide (Figure II.1). Si l'on considère l'ensemble des aciers de toute nature, on constate que les différents traitements thermiques qui leur sont éventuellement appliqués reposent sur des bases métallurgiques communes. Ces traitements sont utiles pour stabiliser les dimensions des moulages et pour homogénéiser les structures ; ils sont nécessaires pour accroître les propriétés d'utilisation des pièces soumises dans leur ensemble à des fortes sollicitations mécaniques ou à des emplois superficiels particuliers. [11]

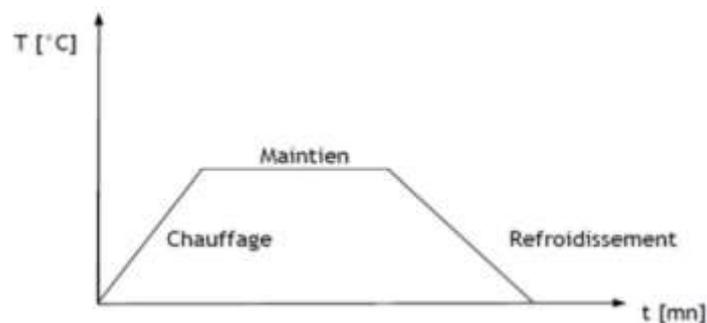


Figure II.1 : Cycle d'un traitement thermique. [12]

Les traitements thermiques agissent sur la matrice en modifiant la nature de ses constituants et parfois même en transformant profondément la structure. De même, les aciers alliés à structure austénitique nécessitent le plus souvent un traitement thermique spécifique pour obtenir une matrice déterminée. Les divers résultats pratiques que l'on peut viser par traitements thermiques de la matrice des aciers sont les suivants :

- La réduction des contraintes internes,
- L'accroissement de l'usinabilité,

- L'obtention d'une bonne ténacité,
- L'augmentation des caractéristiques mécaniques,
- L'augmentation de la résistance à l'usure.

Pour éliminer les contraintes internes, qui peuvent provenir de dessin des pièces, de l'inégalité excessive des sections, de l'absence de congés de raccordement, des conditions de la coulée, d'une composition chimique inadéquate et du traitement thermique mal effectués, on effectue un revenu de détente car ces contraintes sont susceptibles de provoquer des ruptures en service.

Les traitements thermiques sont définis comme suit :

II.1.2 L'austénitisation

Pour avoir l'austénitisation, il faut d'abord chauffer l'acier puis le garder dans son domaine austénitique à une température (30 à 50°C) environ 30 minutes. Durant cette période, la structure de l'acier se fait en transformant les éléments microstructuraux ferritique α (CC) en austénite γ (CFC) et en isolant la cémentite et les carbures dans l'austénite.

II.1.3 Trempe :

La trempe est un traitement thermique qui donne à l'acier une grande dureté par transformation de l'austénite en martensite. La trempe consiste à un chauffage de l'acier à une température de 30 à 50°C au-dessus de la ligne AC3, pour les aciers hypoeutectoïde et supérieure à AC1, pour les aciers hypereutectoïdes. A cette température l'acier est maintenu jusqu'à la transformation des phases, ensuite l'acier subit un refroidissement rapide avec une vitesse supérieure à la vitesse critique de la trempe (pour les aciers au carbone le plus souvent dans l'eau et pour les aciers alliés dans l'huile ou dans un bain de trempe d'autre nature). Le but du refroidissement rapide est d'obtenir une structure martensitique, donc éviter une transformation perlitique. La transformation de l'austénite doit commencer et se termine dans le domaine de la martensite. Donc la trempe permet de donner un maximum de dureté à l'acier HRC = 60 à 65, ce qui donne une structure convenable pour le traitement de revenu. La trempe n'est pas un traitement thermique définitif, le plus souvent elle est suivie d'un revenu destiné à diminuer la fragilité et les contraintes internes afin de donner à l'acier les propriétés mécaniques appropriées.

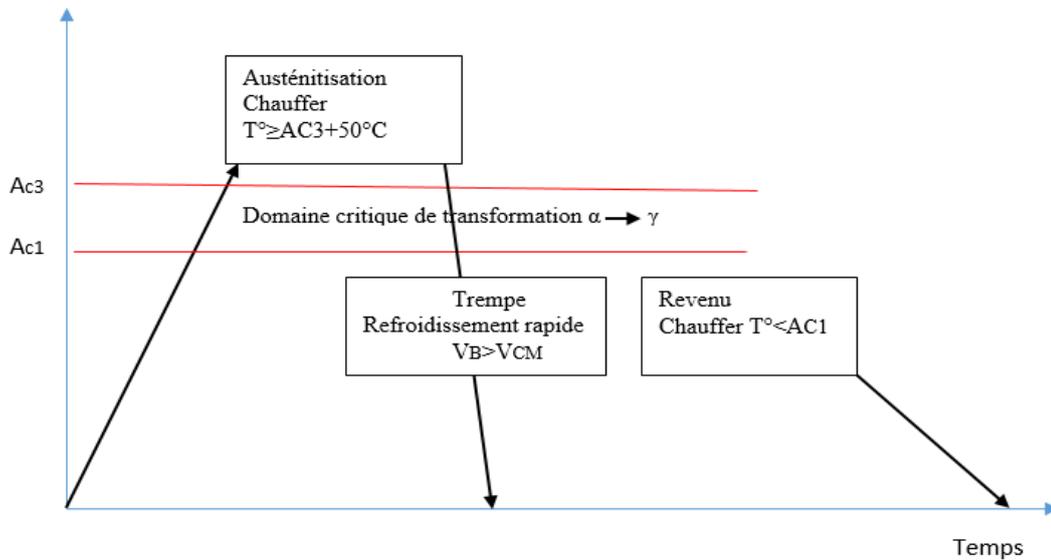


Figure II.2 : Cycle de trempe

II.1.4 Revenu

C'est une opération qui suit le traitement thermique (généralement la trempe). Les paramètres principaux du revenu sont la température de chauffage et la durée de maintien à cette température. La vitesse de refroidissement après revenu a une influence faible sur l'état des contraintes résiduelles. Néanmoins plus le refroidissement est lent, plus les contraintes résiduelles sont faibles. 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.

- Revenu à basse température : Le revenu à basse température s'effectue avec un chauffage entre $200^\circ C$ et $300^\circ C$.
- Revenu à température intermédiaire : Le revenu à température intermédiaire se réalise entre 300 et $500^\circ C$.
- Revenu à haute température : Le revenu à haute température se fait entre 500 et $700^\circ C$.

Le plus souvent, il ne permet pas d'atteindre l'état d'équilibre obtenu par recuit. La nature des phases obtenues et leur composition sont en général voisines de celles obtenues par recuit, mais la structure micrographique est considérablement plus fine.

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.1.5 Recuit

Le but visé par 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. Ce traitement comprend un chauffage au-dessus de l'intervalle de transformation. Le refroidissement qui suit le maintien à cette température doit être réalisé afin d'obtenir les constituants et la dureté désirés selon la vitesse de refroidissement.

- Refroidissement rapide, à l'air.
- Refroidissement lent, dans le four.
- Trois types de recuit peuvent être envisagés :
- Recuit complet à haute température, supérieure à 900°C.
- Recuit à température moyenne, supérieure à la température de transformation $\alpha \rightarrow \gamma$.
- Recuit à basse température, au-dessous de l'intervalle de transformation $\alpha \rightarrow \gamma$.

II.2 Transformations de phases dans les aciers

Dans le diagramme fer-carbone, on a trois phases :

- En dessous de 912°C : la forme cristalline du fer est dite (fer α), sa structure cristalline est cubique centrée (CC).
- Entre 912°C 1938°C, la structure cristalline du fer pur est cubique à face centrée (CFC), cette forme est dite (fer γ).

II.2.1 Transformation au cours de chauffage (austénitisation)

L'austénitisation permet d'homogénéiser chimiquement l'austénite et de contrôler sa taille de grain. L'objectif est d'achever la mise en solution des carbures et d'homogénéiser la répartition des éléments d'alliage pour limiter les éventuelles ségrégations. Le manganèse est par exemple susceptible de ségréger. Le maintien à la température d'austénitisation doit être suffisamment long pour dissoudre les carbures, tout en évitant le grossissement des grains. On définit pour cela le paramètre Pa qui donne un équivalent temps de maintien / température pour atteindre une taille de grain γ donnée.

II.2.1.1 Croissance du grain d'austénite au chauffage

La croissance du grain austénitique est spontanée elle a à l'origine la tendance du système à diminuer l'énergie libre en réduisant la surface des grains, les grains grossissent en accaparant d'autres grains, plus petits et donc moins stable du point de vue thermodynamique.

L'aptitude du grain austénitique à la croissance varie suivant les conditions de fusion même pour les aciers de composition identique. Il existe deux types d'acier à grains fins et à gros grains par hérédité. Dans un acier à grains fins par hérédité, même à la température poussée à 1000°C ou 1050°C, la croissance des grains négligeable mais réchauffement est poussé encore plus, il provoque un brusque grossissement des grains. Dans un acier à gros grains par hérédité c'est l'inverse, un fort développement du grain s'observe même lorsque l'échauffement dépasse A1, d'une valeur négligeable.

II.2.1.2 Influence de la grosseur du grain sur les propriétés de l'acier

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

II.2.2 Transformations au cours de refroidissement

En refroidissement, il y a trois types de transformations :

II.2.2.1 Transformation par diffusion

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).

L'augmentation de la taille de grain austénitique conduit à une augmentation du fait que celle-ci se développe essentiellement au joints des grains et que ceux-ci se voient diminués dans ce cas les grains étant moins nombreux.

II.2.2.2 Transformation par cisaillement ou transformation martensitique :

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

Au-dessous de la température de début de transformation martensitique (M_s) ou la force motrice devient suffisante pour faire apparaître un germe stable, l'interface se propage par un cisaillement de plan et de direction déterminés 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 les réseaux la composition de la phase mère et la phase produite sont les mêmes. Lorsque l'austénite formée contient davantage de carbone et d'éléments d'alliages dissous, elle est plus trempante. Il est de même, lorsque la transformation

martensitique est précédée d'une transformation par diffusion. La température de fin de transformation martensitique (M_f) est difficilement décelable. Si la température finale est maintenue entre M_s et M_f , la transformation est incomplète et de l'austénite subsiste (austénite résiduelle).

La transformation martensitique est une transformation de phase à l'état solide qui peut se résumer en ces points :

- Transformation sans diffusion (sans déplacement d'atomes). Il n'y a pas de modification de la composition chimique du matériau
- Déformation du réseau cristallin qui conduit à un changement de forme macroscopique caractérisé par une faible variation de volume et un cisaillement important selon un plan et direction bien définie (figure II.3).
- Différentes variantes d'orientations équivalentes sont formées, afin de minimiser l'énergie d'interaction entre la martensite formée et l'austénite encore présente.

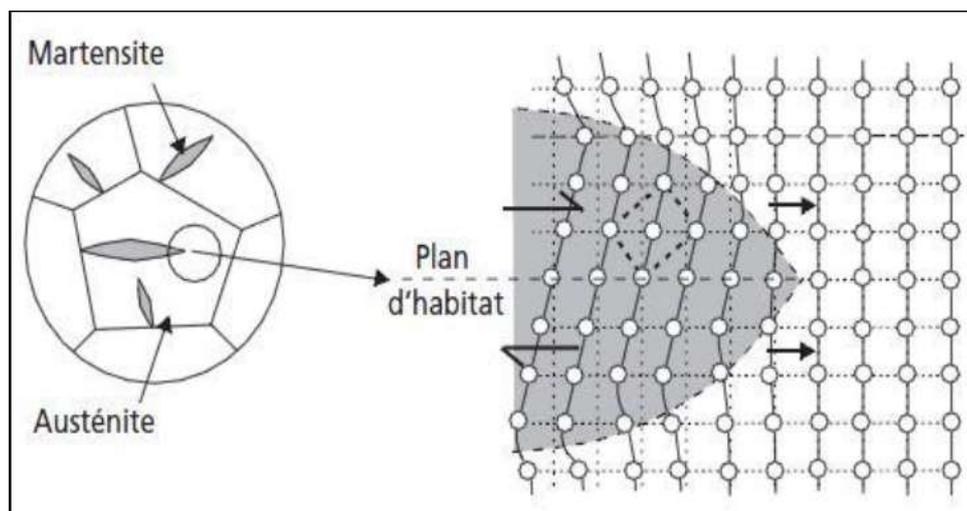


Figure II.3. Représentation schématique simplifiée du mécanisme de la transformation martensitique du fer.

II.2.2.3 Transformation intermédiaires

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

II.2.2.4 Influence de la vitesse de refroidissement sur les transformations de phases :

1) Vitesse de refroidissement lent :

- Transformation austénite-ferrite par germination-croissance transformation diffusive.
- Déplacements atomiques permettant la création de germes et leur croissance.

2) Vitesse de refroidissement rapide :

- La force motrice de transformation devient très grande en-dessous de 550°C, mais la diffusion ne peut plus intervenir...
- La transformation austénite-ferrite se fait par un mécanisme diffusif, c'est à dire par une modification locale de la maille sans déplacement de matière.

II.2.3 Structure cristallographique :

II.2.3.1 De l'austénite

La structure cristalline de l'austénite, solution solide d'insertion de carbone dans le fer γ , est une structure cubique à face centrées (CFC). Les atomes de carbone sont situés dans les sites interstitiels octaédriques du type $1/2, 1/2, 1/2$ (centre de la maille) et $0, 0, 1/2$ (milieu de chaque arête), représenté sur la (figure II.4)

II.2.3.2 De la martensite

La martensite est une solution sursaturée en carbone dans le réseau du fer α . Cette saturation en carbone provoque une distorsion du réseau de la maille de la martensite α' dépendant de sa teneur en carbone. La teneur en carbone augmente la dureté de la martensite.

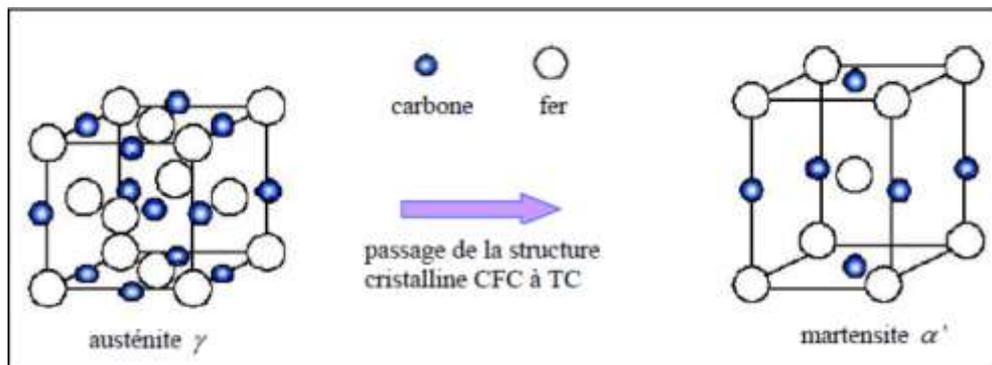


Figure II.4 : Structure de l'austénite et de la martensite α' dans les aciers.

Chapitre III : Procédures expérimentale

Introduction

Dans ce chapitre nous étudions l'acier au manganèse qui nous a été fourni par la fonderie de Tiaret à l'état brut. Cet acier est utilisé pour la fabrication des concasseurs, il est destiné pour travailler dans des milieux agressifs donc Afin d'améliorer les propriétés mécaniques de cet acier tels que la résistance aux chocs et la résistance à l'usure on doit lui faire subir des traitements thermiques.

Dans ce travail, nous avons effectué des traitements thermiques d'austénitisation sur nos échantillons de forme cubique à des différentes températures 1000, 1025, 1050, 1075, 1100°C suivis de deux types de refroidissement (eau et eau glacée) après un maintien de 15 minute. Une caractérisation microstructurale a été réalisée en utilisant le microscope optique (MO). Une caractérisation mécanique basée sur l'essai de dureté a été également effectuée.

III.1 Matériaux utilisés

III.1.1 Présentation du matériau

Dans ce mémoire, le matériau utilisé est un acier allié au manganèse de nuance X120Mn12. Sa composition chimique est indiquée dans le tableau III.1 suivant :

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

Tableau III.1 : Composition chimique de l'acier Hadfield

III.1.2 Elaboration des échantillons

III.1.2.1 Préparation des pièces

Des plaques à l'état brut avec de différentes formes nous ont été fournies par la fonderie de Tiaret. Nous avons par la suite découpé ces plaques avec une scie abrasive qui est disponible Au niveau de hall de technologie à l'université de Bejaia pour obtenir des échantillons de petite taille facile à usiner et pour éviter les zones de délamination sur nos plaques de manganèse. Afin d'élaborer des éprouvettes Normalisées de résilience et des échantillons témoins des traitements thermique (figure III.1).



Figure III.1: Macro Scie disponible au niveau du hall de technologie du département génie mécanique

III.1.2.2 Le fraisage

III.1.2.2.1 Préparation de la machine

Comme tout système mécanique, une machine-outil nécessite un entretien suivi et rigoureux, si l'on désire conserver une bonne précision dans le temps, et profiter d'une machine fiable et agréable à utiliser. A l'aide d'un pinceau avec un produit de nettoyage nous avons étalé le produit sur toute la machine, et comme la plupart des machines sont munies de graisseurs spécifiques, nous avons effectué le graissage des paliers de vis de déplacement, pignons, coulisses et fourreau de contre-pointe, avec l'huile de graissage.

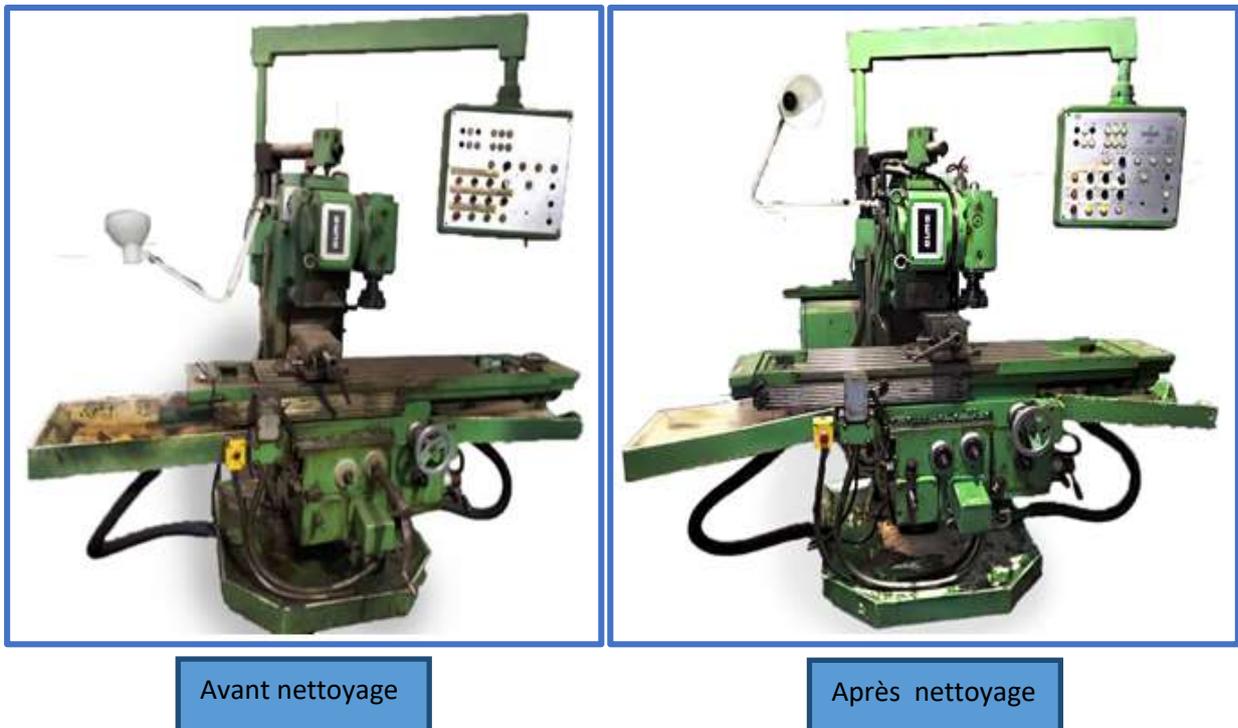


Figure III.2 : fraiseuse conventionnelle FH 1.6 utilisé

III.1.2.2.2 Présentation de la machine (fraiseuse)

Cette machine sert principalement à usiner des pièces prismatiques. La pièce est fixée dans L'étau. L'outil est mis en rotation par le moteur de broche, il suit une trajectoire qui interfère avec la pièce. L'outil est muni d'une arête coupante. Comme illustrer dans la (Figure III.3).



Figure III.3: fraiseuse conventionnelle FH 1.6 utilisé disponible au niveau du hall de technologie du département génie mécanique

III.1.2.2.3 Usinage

Durant cette étape on a entamer une phase de fraisage (surfaçage) pour nos éprouvettes en utilisant la Fraiseuse universelle FH 1.6 du hall de technologie après l'avoir bien nettoyer avec du Mazout comme illustré dans la (figure III.4), (l'outil utilisé est une fraise de diamètre 120mm avec 6 dents en carbure, avec des Conditions de coupe : une vitesse de coupe $V_c=50\text{m/min}$, une vitesse d'avance de 50 mm/min et une profondeur de passe de $0,5\text{ mm}$).



Figure III.4 : Échantillon en cours d'usinage

III.2 Traitements thermiques

Le traitement thermique d'une pièce de métal consiste à lui faire subir des transformations de structure grâce à des cycles prédéterminés de chauffage et de refroidissement afin d'en améliorer les caractéristiques mécaniques.

Dans ce travail les traitements thermiques ont été réalisés au sein de hall de technologie du département génie mécanique en utilisant un four électrique comme le montre la (figure III.5).



III.5 : Four électrique disponible au laboratoire Fonderie du département génie mécanique au niveau du hall de technologie

III.3 Le polissage

Les échantillons traités ont subi une préparation de surface par polissage mécanique en utilisant des papiers abrasifs de différentes granulométrie de plus en plus faibles de 400 jusqu'à 2000, à l'aide de la polisseuse illustrée dans la (figure III.6).



Figure III.6: Appareille de polissage.

III.4. Techniques de caractérisation

II.4.1. Microscope optique

Le but de cette technique est de mettre en évidence les constituants structuraux de l'acier après un traitement thermique.

Après le polissage, on procède à l'observation en utilisant la Microscopie optique, qui est disponible au niveau de laboratoire de département de biologie, (figure III.7).



Figure III.7 : microscope optique

II.4.2. Essai de dureté (Rockwell)

Cet essai sert à mesurer la dureté du matériau avant et après les différents traitements thermiques. En tenant compte de la profondeur à laquelle une pointe pénétrée dans le matériau lorsqu'on applique une charge donnée. Dans notre cas on a appliqué la dureté HRC (Rockwell) : La charge appliquée : 1236N.

La pénétration (sous forme de bille) : cône en carbone.

Diamètre : 136mm. (Figure III.8).



Figure III.8 : Machine de dureté universelle Brinell, Vickers et Rockwell

Chapitre IV

Résultats et discussions

Introduction

Dans ce chapitre nous exposeront les résultats obtenus par le traitement thermique à différentes températures d'austénitisation exercé sur nos échantillons préparés ainsi que le milieu de refroidissement (eau et eau glacé) sur les propriétés microstructurales et propriétés mécaniques (dureté, caractérisé par des essais de dureté Rockwell).

IV.1 Analyses microstructurales au microscope optique (MO)

Dans la figure suivante nous allons voir la microstructure de la pièce dite "témoin" à l'état brut de livraison et qui n'a subi aucun traitement thermique. On remarque une structure dendritique, comme on peut le voir clairement dans la figure (IV.1)

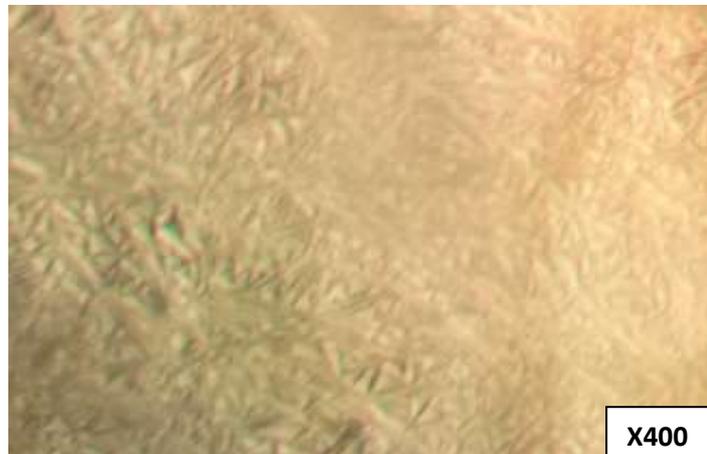


Figure IV.1: Microstructure de la pièce brute de livraison dite "témoin"

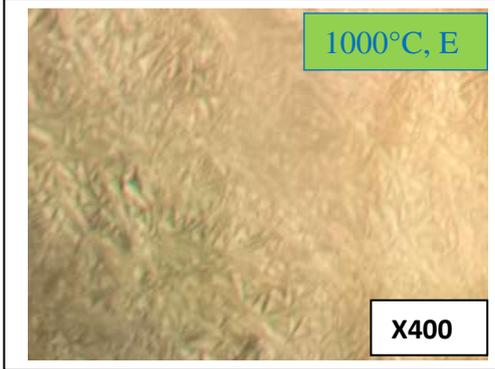
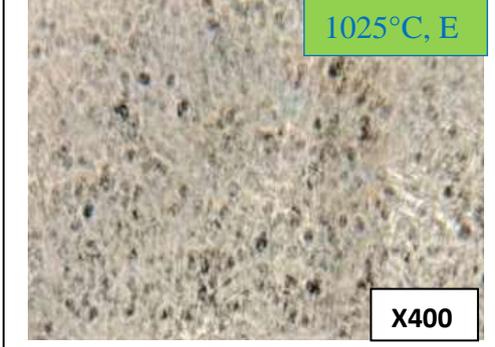
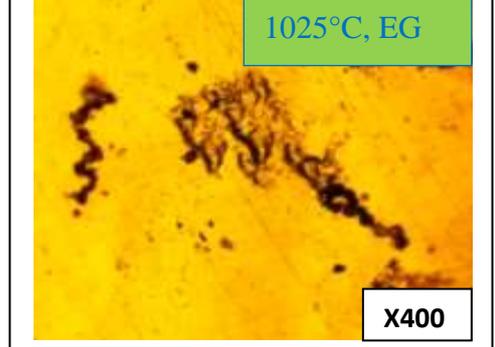
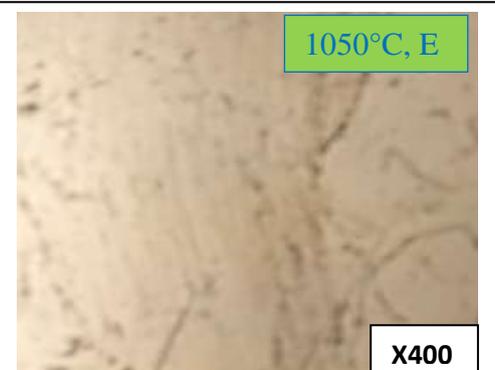
Dans cette partie nous allons exposer et observer l'état d'évolution de nos dix échantillons traités thermiquement à différentes températures (1000, 1025, 1050, 1075, et 1100°C) et maintenus pendant 15 min ainsi que le milieu de refroidissement (eau et eau glacé).

Les résultats obtenus sont illustrés dans (la figure IV.2) :

Les chiffres (1), (2), (3), (4) et (5) représentent nos dix échantillons traités à différentes températures (1000, 1025, 1050, 1075, et 1100°C) et refroidis dans deux milieux différents eau et eau glacé.

– (E) représente les microstructures de nos échantillons obtenus après une trempe à l'eau, **(Agrandissent X400)**.

–(EG) représente les microstructures de nos échantillons obtenus après une trempe à l'eau glacé, **(Agrandissent X400)**.

(1)	 <p>1000°C, E</p> <p>X400</p>	 <p>1000°C, EG</p> <p>X400</p>
(2)	 <p>1025°C, E</p> <p>X400</p>	 <p>1025°C, EG</p> <p>X400</p>
(3)	 <p>1050°C, E</p> <p>X400</p>	 <p>1050°C, EG</p> <p>X400</p>

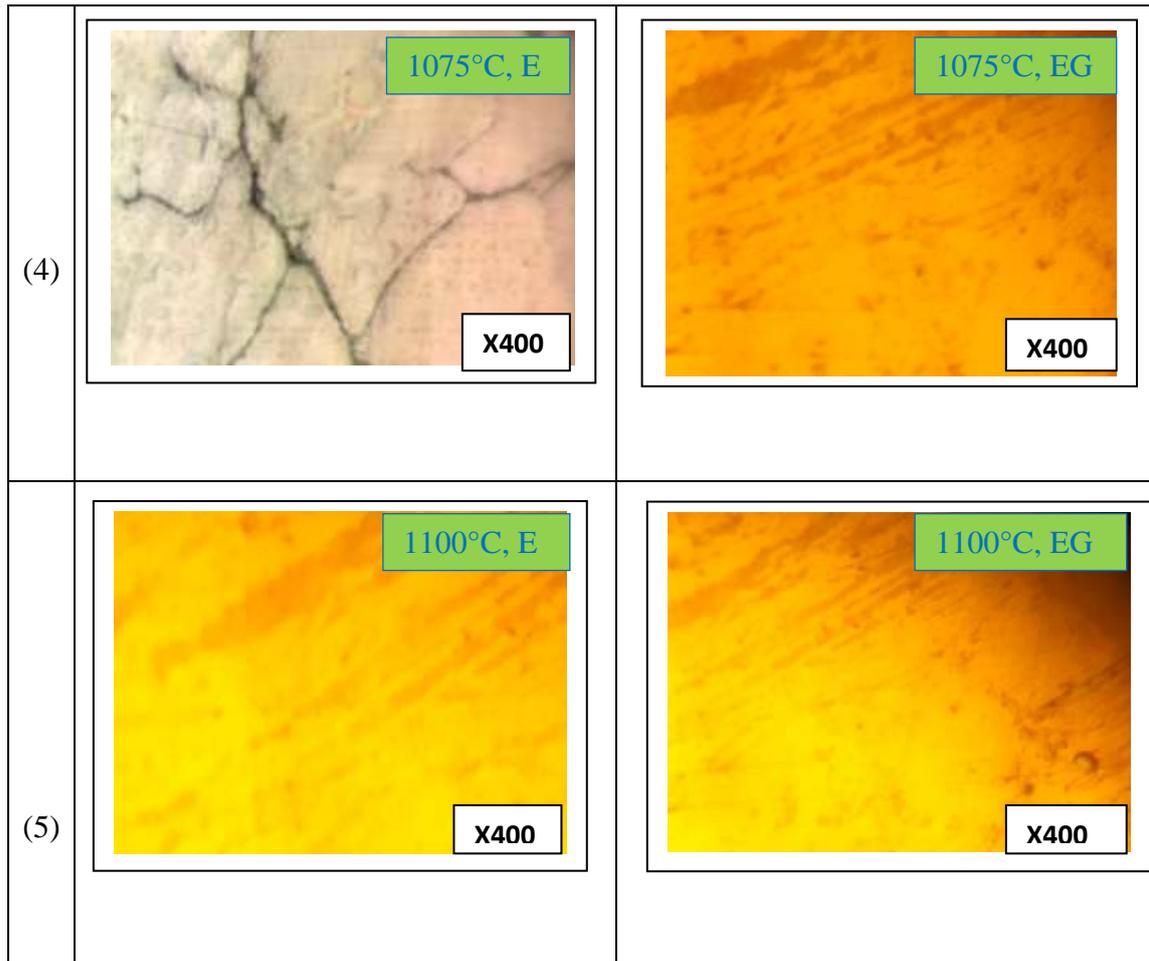


Figure IV.2 : Microstructures des différents échantillons traités. (E) refroidis à l'eau, (EG) refroidis à l'eau glacée.

L'échantillon traité à 1000°C et trempé à l'eau, on remarque qu'on a obtenu une même microstructure que celle de l'échantillon témoin. Alors qu'avec un refroidissement à l'eau glacée, on constate une morphologie différente sous forme de porosités.

L'échantillon traité à 1025°C et trempé à l'eau, d'après la microstructure obtenue au microscope optique on remarque clairement qu'elle est identique à celle obtenue en 1000°C trempé à l'eau glacée. Cependant la microstructure obtenue après trempé à l'eau glacée on constate la présence de la phase noire.

L'échantillon traité à 1050°C et trempé à l'eau, la microstructure obtenue est sous forme d'aiguilles épaisses, la même chose pour la microstructure obtenue après trempé à l'eau glacée mais on remarque un rétrécissement de la forme d'aiguille (aiguilles fines).

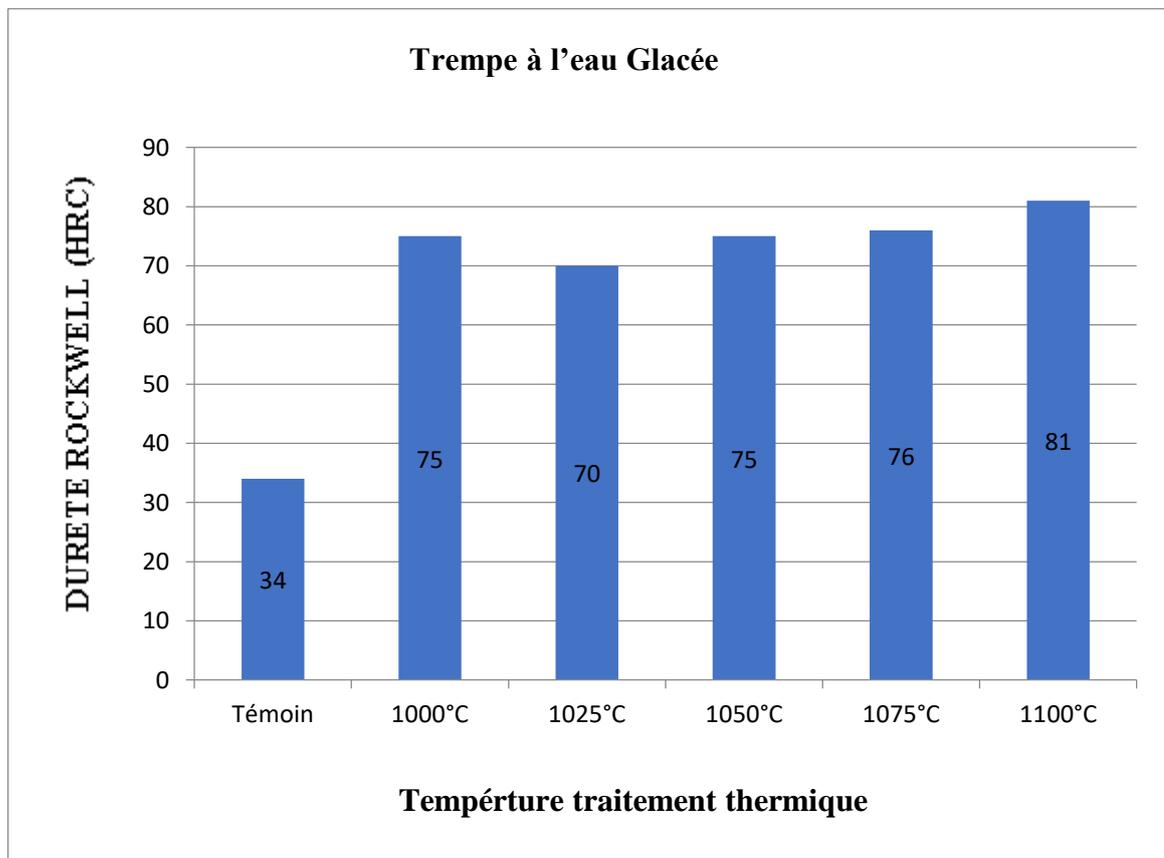
L'échantillon traité à 1075°C et trempé à l'eau, la microstructure obtenue est sous forme de joints de grains étendus alors que à l'eau glacée on remarque que les joints de grains sont élargies.

L'échantillon traité à 1100°C on remarque qu'avec un refroidissement à l'eau, la microstructure obtenue est prédominée par une phase noire. Alors que celle de l'eau glacée on remarque la disparition progressive de la phase noir.

IV.2 Discussion sur les résultats obtenus par l'essai de dureté Rockwell

La dureté correspond à la mesure d'une résistance à la pénétration locale du matériau considéré. La dureté est aussi une propriété physique qui dépend non seulement des caractéristiques de ce matériau, mais aussi de la nature et de la forme du pénétrateur et du mode de pénétration.

Pour tester nos échantillons trempés est traités à différentes températures d'austénitisation (1000, 1025, 1050, 1075, et 1100°C), et voir l'influence des traitements thermique appliquées, nous avons mesuré la dureté type Rockwell avec une charge de 1236N, Les mesures ont été effectuées sur des surfaces polies pendant 30 secondes. Les résultats obtenus sont indiqués dans les deux histogrammes suivants ;



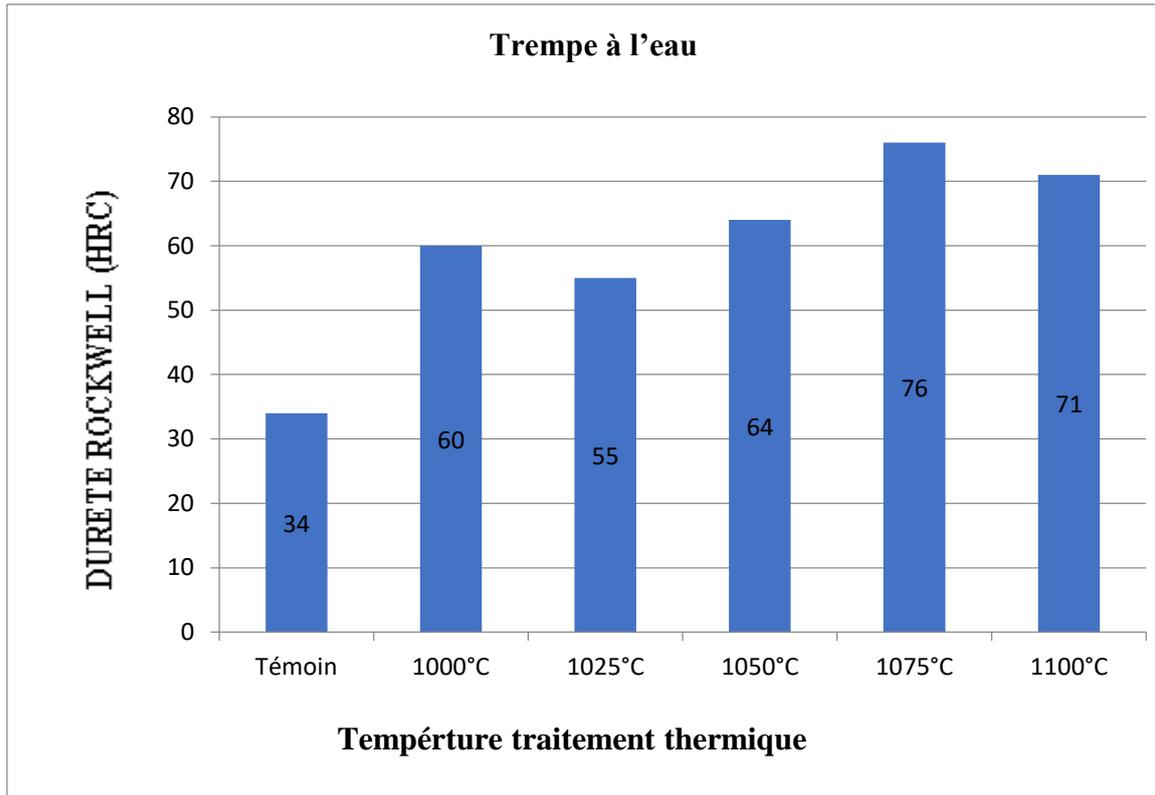


Figure IV.3: Dureté Rockwell des différents échantillons. E) trempés à l'eau, EG) trempés à l'eau glacée.

Pour mieux comprendre et comparée les résultats de dureté obtenus entre une trempe à l'eau et à l'eau glacée on a accumulé l'histogramme suivant ;

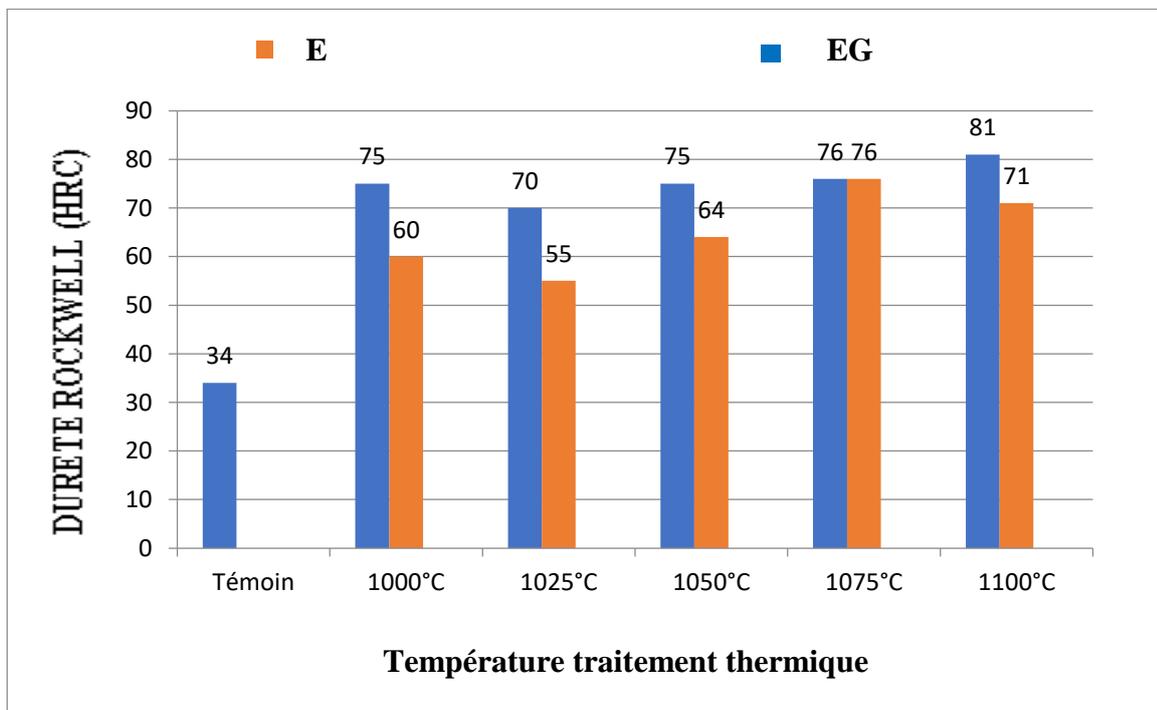


Figure IV.4 : Histogramme comparatif des valeurs de dureté (Rockwell).

- A travers cet histogramme, on remarque clairement que l'acier traité à 1100°C et trempé à l'eau glacée présente la plus grande valeur de dureté que tous les autres échantillons, de l'ordre de 81 HRC. et pour ceux qui sont trempé à l'eau on remarque que l'acier traitée à 1075°C présente la plus grande dureté, de l'ordre de 76 HRC.
- Pour l'échantillon traité à 1025 C° et trempée à l'eau on remarque une petite dégradation de la dureté (55) HRC et Ça on peut l'expliquer par la microstructure obtenue qui est formée de carbures, ces derniers influent négativement sur la dureté. Pour l'échantillon trempé à l'eau glacée on a obtenu une dureté de l'ordre de 70 HRC
- A 1050°C, l'échantillon trempé à l'eau glacée donne une meilleure dureté (75 HRC) par rapport à celui trempé dans l'eau (64 HRC).
- Contrairement aux autres températures, l'échantillon traité à 1075°C présente une même dureté pour les deux milieux de trempé. ceci est du forcément a la microstructure identique obtenue.
- A la température d'austénitisation 1100 C°, on remarque qu'une trempé à l'eau glacée donne une meilleure dureté que celle de la trempé à l'eau.

CONCLUSIONS

Conclusions

Les aciers au manganèse traité de nuances ont une structure austénitique, ils sont fragile à cause de la présence de carbures de manganèse et de chrome en grande quantité dans les joints de grains. Par conséquent, ces aciers ne peuvent pas être utilisés à l'état brut de coulée.

L'austénitisation à un impact sur la taille des grains austénitiques ;

Nous avons observé que le temps et la température d'austénitisation font croître la taille des grains austénitiques. Cet accroissement dépend de la teneur en carbone, La température d'austénitisation et le milieu de refroidissement, vitesse de refroidissement influe sur les propriétés mécaniques de l'acier étudié (Dureté), d'après les résultats obtenus on a remarqué que la trempe à l'eau glacée donne une meilleur dureté que la trempe à l'eau, et ça c'est dû à la formation de la phase martensitique qui est provoquer par le refroidissement rapide avec de l'eau glacée.

La distribution de la température présente dans un four exerce une influence considérable sur les propriétés mécaniques. Un gradient de température de 20°C augmente la ductilité des échantillons.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] ZIOUAL, S. (2019). «Influence des traitements thermiques sur les propriétés mécaniques d'un acier au manganèse». Mémoire de Master, Université Abderrahmane mira, Bejaia, Algérie.
- [2] RABIA, N et KALI, A (2017). «Influence des traitements thermiques sur les propriétés mécaniques d'un acier au manganèse utilisé dans la fabrication des marteaux de concasseurs». Mémoire de master, Université Abderrahmane mira, Bejaia, Algérie.
- [3] MAALEM, K et SAIB, L (2020). Etude bibliographique sur les aciers au manganèse destinés à la fabrication des mâchoires pour concasseurs. Mémoire de magister, Université Abderrahmane mira, Bejaia, Algérie.
- [4] AZZOUG, N et BENCHEIKH, S. (2016). Optimisation des paramètres des traitements thermiques d'austénitisation de l'acier de construction mécanique XC48. Mémoire de master, Université Abderrahmane mira, Bejaia, Algérie.
- [5] HARZALLAH, R. (2010). Étude du comportement mécanique et tribologique des aciers austénitiques au manganèse : application aux cœurs de voies ferroviaires. Thèse de doctorat, l'École Nationale Supérieure des Mines, Paris.
- [6] MOKRANI, K. (2019). Microstructure et caractérisation d'un acier BS2. Mémoire de master, Université de Biskra, Algérie.
- [7] BOUDIAF, A. (2011). Relation microstructure - comportement macroscopique dans les aciers : effet de la taille de grain austénitique sur la plasticité de transformation. Thèse de doctorat, INSA de Rouen, France.
- [8] CHERIFI, N et BESSAH, C. (2016). Influence des traitements thermiques sur les propriétés mécaniques d'un acier à outils pour travail à chaud (X38CrMoV5-1). Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie.

[9] BELAID, L. (2018). Corrélation entre la microstructure, les propriétés physico-chimiques et mécaniques d'un acier au manganèse élaboré par deux méthodes : fusion et mécanosynthèse. Thèse de doctorat, Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene.

[10] OUSSADANE, N. (2014). Etude de l'influence des traitements thermique sur la résistance à l'usure des aciers a outils de type X155CrVMo12.1. Mémoire master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[11] BAAMAR, A. SKHARA, R. (2020). Concasseurs et broyeurs : types et maintenance. Mémoire master, Université Mohamed Boudiaf de M'sila.

[12] REMLI, F. (2016). L'effet d'usinage par tournage sur un acier XC18. Thèse de doctorat, Université Mohamed khider de Biskra.

Résumé

Ce travail de recherche porte sur l'influence des traitements thermiques sur les propriétés Mécaniques d'un acier à 12% de manganèse. Cet acier, destiné à des sollicitations continues d'usure et de choc, est recommandé pour les industries lourdes dont les applications utilisent les mâchoires de broyeur, les marteaux d'impact, les aiguilles de chemins de fer.

Les traitements thermique est dans le but d'assurer une meilleure pièce de travail présentant une meilleure résistance à l'usure et une grande dureté. Des techniques de caractérisation : par mesure de dureté ont été utilisées pour mettre en évidence l'effet des traitements thermiques sur les propriétés de travail des différents conditions de traitement d'acier obtenu. Les résultats obtenus ont montré la nette influence des traitements thermiques sur la dureté. Il a été noté que différentes valeurs sont obtenues avant et après traitement thermique. Et on a remarqué que le milieu de refroidissement joue un rôle non négligeable sur nos échantillons traites.

Mots clé : traitement thermique, refroidissement, propriétés mécaniques, température d'austénitisation.

هذا باستخدام يُنصح .12٪ بنسبة منجنيز لصلب الميكانيكية الخواص على الحرارية المعالجات تأثير على البحث هذا يركز

الكسارة فكوك تطبيقاتها تستخدم التي الثقيلة للصناعات ، والصدمات للتآكل المستمرة للضغوط المخصص ، الفولاذ

الحديدية السكك وإبر الصدمية والمطارق

استخدام تم :التوصيف تقنيات .عالية وصلابة أفضل تآكل مقاومة مع أفضل عمل قطعة ضمان إلى الحرارية المعالجات تهدف

الحصول تم التي المختلفة الصلب معالجة لظروف العمل خصائص على الحرارية المعالجات تأثير لإبراز الصلابة قياس

على الحصول يتم أنه لوحظ .الصلابة على الحرارية للمعاملات الواضح التأثير عليها الحصول تم التي النتائج أظهرت .عليها

المعالجة العينات في مهمًا دورًا يلعب التبريد وسط أن ولاحظنا .الحرارية المعالجة وبعد قبل مختلفة قيم

الكلمات المفتاحية: المعالجة الحرارية، التبريد، الخواص الميكانيكية، درجة حرارة الاستنشاق.

Abstract

This research work focuses on the influence of heat treatments on the mechanical properties of a 12% manganese steel. This steel, intended for continuous stresses of wear and shock, is recommended for heavy industries whose applications use crusher jaws, impact hammers, railroad needles.

Heat treatments are for the purpose of ensuring a better work piece with better wear resistance and high hardness. Characterization techniques: by hardness measurement have been used to highlight the effect of heat treatments on the working properties of the different steel treatment conditions obtained. The results obtained showed the clear influence of heat treatments on hardness. It was noted that different values are obtained before and after heat treatment. And we noticed that the cooling medium plays a significant role on our treated samples.

Keywords: heat treatment, cooling, mechanical properties, austenitization temperature.