

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique Université Ferhat

Abbas- Sétif 1

Institut : Optique et Mécanique de Précision Département : Optique et mécanique de
précision Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Optique et Mécanique de Précision Spécialité : Mécanique des matériaux

Mémoire de Master

Comportement mécanique et microstructural d'un acier à ferrite aciculaire en relation avec différents traitements

Étudié par : Saida OUKACI

Dirigé Par : Dr. Sabira MOUHOUBI

Pr. Rachid LOUAHDI

Devant le jury :

(Examineur) : Pr OUAKDI El Hadj

(Examineur) : Dr RAHMANI Abdekader

Soutenue le : 30 /6/2024

Table des matières

Remerciements	ii
Liste des tableaux	v
Introduction générale	1
Chapitre 1 : Généralités sur les aciers	3
1.1 Introduction	3
1.2 Généralité sur les aciers	3
1.2.1 Diagramme fer-carbone.....	3
1.2.2 Les différentes phases du système Fer-Carbone.....	4
1.3 Les aciers	5
1.3.1 Aciers au carbone d'usage général	5
1.3.2 Les aciers de traitements thermiques	5
1.3.3 Aciers non alliés.....	6
1.3.4 Aciers alliés	6
1.4 Les Traitements appliqués sur les aciers	6
1.4.1 Traitements thermique.....	6
1.4.2 Traitements thermomécanique.....	7
1.4.3 Traitement thermochimique	7
1. 5 Conclusion	11
Chapitre 2 : Notions sur les aciers micro-alliés	11
2.1 Introduction	12
2.2 Les aciers micro-alliés	12
2.2.1 Les principaux éléments de micro-alliage	12
2.2.2 Les Aciers Micro-alliés Ferrito-perlitiques	13
2.2.3 La ferrite aciculaire	14
2.4 Conclusion	17
Chapitre 3 : Procédures expérimentales.....	18
3.1 Introduction	18
3.2 Composition chimique de l'acier	18
3.3 Préparation des éprouvettes	18
3.3.1 Eprouvettes pour caractérisation mécanique	18

3.4 Traitements thermiques et thermochimique.....	19
a) Trempe	20
b) Revenu.....	20
c) Cémentation suivie de trempe.....	20
3.5 Etude métallographique	22
3.5.1 Préparation des échantillons pour l'étude métallographique	23
3.5.2 Attaque chimique	25
3.5.3 Observation microscopique	25
3.6 Mesure de dureté	25
.....	26
Chapitre 4 : Résultats et discussions.....	27
4.1 Introduction	28
4.2 Etude de l'acier brute	28
4.2.1 Analyse chimique.....	28
4.2.2 Analyse micrographique	29
La figure 4. 1 présente des micrographies qui révèlent la microstructure de l'acier sujet de notre étude	29
4.3 Impacts des traitements thermiques.....	30
4.3.1 Variation de la dureté en relation avec la trempe thermiquement.....	30
4.3.2 Effets de la trempe thermique sur la microstructure de l'acier	31
4.4 Influence de la durée de cémentation	33
4. 4. 1. Variation de la dureté avec le temps de cémentation	33
4. 4. 2. Evolution de la microstructure avec le temps de cémentation.....	35
4. 4. 3. Evolution de l'épaisseur de la couche diffusion.....	38
Conclusion générale.....	41
REFERENCE	43

Conclusion

Liste des figures

FIG. 1. 1 : DIAGRAMME D'EQUILIBRE FER-CARBONE [6].....	4
FIG 1. 2 : PHASES DE CEMENTATION [16].....	8
FIG 1. 3 : PRINCIPE DE CEMENTATION SOLIDE [17].....	9
FIG 1. 4 : PRINCIPE DE CEMENTATION LIQUIDE [17].....	9
FIG 1. 5 : PRINCIPE DE CEMENTATION GAZEUSE [17].....	10
FIG 2. 1 : REPRESENTATIONS SCHEMATIQUES DE LA FORMATION DE LA : (A) LA BAINITE, (B) LA FERRITE ACICULAIRE	15
FIG 3. 1 : ACIER FOURNIT PAR SIDER ELHADJAR	18
FIG 3. 2 : <i>EBAUCHAGE DES EPROUVETTES</i>	18
FIG 3. 3 : DIFFERENTES PHASES DE FRAISAGE.....	19
FIG 3. 4 : <i>CONFECTION DES PIECES DESTINEES A LA CEMENTATION, (A) CUBAGE, ...</i>	19
FIG 3. 5 : DIAGRAMMES DE TRAITEMENT THERMIQUE (a) Pièce traitée thermiquement 850°C suivie d'une trempe et revenu 200°C (b) Pièce traitée thermiquement à 850°C suivie d'une trempe et revenue à 400°C (c) Pièces cimentées et traité thermiquement à 850°C suivie d'une trempe et revenue à 300°C.	21
FIG 3. 6 : FOUR THERMIQUE FURNACE 1400 °C	22
FIG 3. 7 : CEMENTATION SOLIDE (A) CAISSE DE CEMENT, (B) EPROUVETTES CEMENTEES.....	22
FIG 3. 8 : UNE MICRO-TRONÇONNEUSE SECOTOM 15.....	23
FIG 3. 9 : DECOUPAGE PAR SCIE.....	23
FIG 3. 10 : MACHINE D'ENROBAGE CITO PRESS-15	24
FIG 3. 11 : ENROBAGE DES ECHANTILLONS PAR LA RESINE.....	24
FIG 3. 12: OPERATION DU PRE-POLISSAGE (A) PAPIERS ABRASIFS, (B) POLISSEUSE, (C) ECHANTILLON PRE-POLI.....	24
FIG 3. 13 : POLISSAGE DE FINITION	25
FIG 3. 14 : MICROSCOPE OPTIQUE UTILISE	25
FIG 3. 15: PRINCIPE DE L'ESSAI DE DURETE VICKERS	26
FIG 3. 16: LE MICRO-DUROMETRE Q30	26
FIG 4. 1: MICROSTRUCTURE DE L'ACIER ETUDIE A L'ETAT BRUTE (NORMALISE).	29
FIG 4. 2 : VARIATION DE LA DURETE MOYENNE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE DE REVENU	31
FIG 4. 3: MICROGRAPHIES DE L'ACIER TREMPÉ ET REVENU A 200°C.....	32
FIG 4. 4: MICROGRAPHIES DE L'ACIER TREMPÉ ET REVENU A 400°C.....	33
FIG 4. 6 : MICROGRAPHIES DE L'ACIER CEMENTÉ A (A) 15MIN (B) 30 MIN (C) 45 MIN	36
FIG 4. 7 : MICROGRAPHIES DE L'ACIER CEMENTÉ AUX DIFFERENTES DUREES.....	38
FIG 4. 8 : EVOLUTION DE L'ÉPAISSEUR DE LA COUCHE CEMENTÉE.....	39

Liste des tableaux

TAB 4. 1 : COMPOSITION CHIMIQUE DE L'ACIER SUJET D'ETUDE.....	28
---	----

Résumé

Notre étude concerne la description de l'influence des traitements thermiques et thermo-chimiques sur les propriétés mécaniques d'un acier micro-allié. Premièrement nous avons caractérisé l'acier à son état brut par la détermination de sa composition chimique, sa dureté. Ensuite, notre étude sera partagée en deux parties. Premièrement nous avons envisagé l'influence de la température de revenu sur les propriétés mécaniques (dureté) et la microstructure de l'acier traité. A la seconde partie qui concerne le traitement de cémentation effectué sur ce même acier. Pour mettre en évidence l'augmentation de la teneur de carbone de la couche superficielle, et suivre l'évolution de la profondeur et la pénétration en fonction du de temps cémentation.

Mots clés : trempe, revenu, cémentation, dureté, microstructure.

Abstract

Our study concerned to describe the influence of thermal and thermo-chemical treatments on the mechanical properties of micro alloy steel. First, we characterized the study steel in its raw state by determining its chemical composition, It's mechanical properties (Hardness). Then our study will be divided into two parts. First, we considered the influence of tempering temperature on the mechanical properties (hardness), and microstructure of the treated steel. To the second part which concerns the carburizing treatment carried out on this same steel. In order to highlight the increase in the carbon content of the surface layer, and also following the evolution of depth and penetration as a function of carburizing time.

Key words: quenching, tempering, case hardening, hardness, microstructure

Introduction générale

Depuis des années les métallurgistes ont contribué à une grande révolution dans le domaine des matériaux, en se basant sur l'hypothèse « Si Microstructure change, alors. Propriétés mécaniques changent », ils ont sorti des gammes des alliages à base de fer et ils ont créé d'autres matériaux selon les besoins de la technologie comme : les alliages d'aluminium, les composites, les polymères...etc.

Cela a permis à l'acier de pouvoir garder sa place dans l'industrie et assisté à un grand développement.

Malgré cela, l'acier a trouvé le pouvoir pour garder sa place dans l'industrie il a assisté à un grand développement. A partir de 1950, il est sorti du domaine des aciers ordinaires au domaine des aciers spéciaux qui a donné naissance à la gamme des aciers HSLA « High Strength Low Alloy steel » précisément micro- alliés [1].

Les aciers micro-alliés dits également « HLE » (Haute Limite d'Elasticité) ou « HSLA steels » (High Strength Low Alloyed). Comme leur nom l'indique sont faiblement alliés, leur intérêt est d'obtenir ces caractéristiques avec une faible teneur en carbone ($< 0,1\%$) ce qui les rend soudables sans précautions particulières et leur confère de bonnes tenues au choc, jusqu'à basse températures ($- 40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Reproduire de telles caractéristiques en fonderie représente un vrai challenge.

Les aciers au carbone traditionnels acquièrent leurs propriétés par traitements thermiques (trempe suivie d'un revenu), à l'aide des éléments d'alliage (chrome, nickel) introduits à des teneurs d'autant plus élevées que le niveau de résistance mécanique souhaité est lui-même élevé. Au contraire, les aciers micro-alliés acquièrent leurs propriétés par l'addition à doses « homéopathiques » d'éléments d'alliage produisant un durcissement structural. Ces éléments (le niobium, le vanadium, le molybdène ou le titane) forment des précipités de très petite taille en s'associant avec le carbone et l'azote dissous dans l'acier, produisant ainsi le durcissement et les bonnes caractéristiques mécaniques [2]

Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes intéressés sur les différents traitements thermiques et thermochimiques en masse d'un acier micro allié à faible teneur en carbone. Nos échantillons ont été austénisés à une température de $850\text{ }^{\circ}\text{C}$, pour être ensuite refroidis rapidement dans un bain d'eau à température ambiante. Un tel

Refroidissement rapide a pour but de conférer à l'acier la plus grande dureté possible. Afin d'étudier l'influence de la température de revenu sur le comportement mécanique et microstructurale de notre acier, trois températures de revenu ont été choisies 200°C et 400°C et 300 °C.

Pour mettre en évidence l'augmentation de la teneur de carbone de la couche superficielle de notre acier, on a opté pour la cémentation solide. La température de cémentation est de 850°C et les temps de maintien dans la caisse de ciment dans le four varient de quelques minutes à plusieurs heures (le temps minimal est choisi de 15min et le temps maximal est de 4h). Chaque durée permet d'obtenir une épaisseur donnée de la couche cémentée. Le durcissement de la couche cémentée s'obtient par trempe direct à l'eau, suivie d'un traitement de revenu à 200°C pendant 10 minutes qui sert à la relaxation partielle des contraintes provoquées par la trempe. Notre étude, qui inclut une analyse métallographique et le suivi de l'évolution de la dureté en relation avec le temps de cémentation, nous permettra de comprendre les propriétés microstructurales et mécaniques de l'acier étudié [3].

Ce mémoire comprend quatre chapitres :

Le premier chapitre présente une étude théorique sur les aciers en générale, les traitements thermiques préconisés à ces matériaux, ainsi leurs traitements de surface spécialement la cémentation par carbone.

On ce qui concerne le deuxième chapitre il conclue des notions et des généralités à propos des aciers micro-alliés.

Le troisième chapitre se résulte à propos des procédures expérimentales.

Le dernier chapitre qui est le quatrième sera consacré aux résultats obtenus et leurs discussions.

Enfin, se mémoire sera achevé par une conclusion générale.