République Algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université DE Médéa

Département du Génie la matière

Faculté des sciences de Technologie

projet de fin d'études

Pour l'obtention d'un Diplôme de Master En Génie Mécanique

Option: science des matériaux

thème

Evolutions des essais mécaniques Lors des traitements thermiques imposés à un acier faiblement allié 100C6

Présenté par :

- *BOUDIAF HOUCINE*
- *CHAHBOUB YOUCEF*

Proposé par :

Encadreur : Dr. ELMOHRI .A

Promotion 2017

REMERCIEMENTS

***E**n Premier lieu, Je remercie **ALLAH,** le Tout Puissant pour m'avoir donné la volonté, la santé et le courage pour réaliser ce travail.*

***J**e remercie infiniment **Docteur** :* **Abd-Elnour ELMOHRI** *et qui avoir assuré la co-direction de ce mémoire, pour ces conseils précieux le long de mon travail de mémoire. Je ne saurais trop le remercier pour l'intérêt qu'il a accordé à ce travail et pour les longues heures de discussion qu'il m'a réservé avec une patience inégale. Et tous les enseignants du département Génie de la mécanique*

***J**e remercie également tous les membres de jury qui ont bien voulu examiner ce modeste travail. Je suis certaine de pouvoir compter sur leurs vastes connaissances et leur esprit critique constructif pour m'aider, par leurs commentaires et leurs discussions, à mieux comprendre certains problèmes rencontrés au cours de ce travail de recherche.*

***I**l est difficile, dans un petit espace, de remercier toutes les personnes qui ont eu une influence sur ma vie de tous les jours pendant la durée de réalisation de mon mémoire de fin d'études. Ces personnes se reconnaitront facilement et sauront combien ma tendresse et mon amitié sont grandes pour eux.*

***C**e travail n'aurait jamais pu se réaliser sans le soutien continu de ma famille et sans leur éducation basée sur des valeurs morales fondées sur le respect des autres et du travail.*

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A ma chère maman qui n'a jamais cessé de ménager ses efforts pour que j'atteigne ce niveau. Ses sacrifices et privations ne l'ont pas empêché d'accomplir son devoir de mère soucieuse de l'avenir de ses enfants.

A mon cher papa qui a su se montrer patiente, compréhensif et encourageant, sa chaleur paternelle a été et sera toujours pour moi d'un grand réconfort.

A mon frère abdelkader,

, et mes sœurs

A ma famille, grande et petite

A mes chères copines
chellali, yekhlef,
brawni, zenagi , ,

À tous mes amies et mes collègues, pour les sympathiques moments qu'on a passé ensemble.

À tous ceux qui me connaissent, et surtout qui m'aiment.

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A ma chère maman qui n'a jamais cessé de ménager ses efforts pour que j'atteigne ce niveau. Ses sacrifices et privations ne l'ont pas empêché d'accomplir son devoir de mère soucieuse de l'avenir de ses enfants.

A mon cher papa qui a su se montrer patiente, compréhensif et encourageant, sa chaleur paternelle a été et sera toujours pour moi d'un grand réconfort.

A mon frère , mohmed ,

et mes sœurs

A ma famille, grande et petite

A mes chères copines,
toumi, , chelfi ,
zaatout , azizi, Samir,
mohamed

À tous mes amies et mes collègues, pour les sympathiques moments qu'on a passé ensemble.

À tous ceux qui me connaissent, et surtout qui m'aiment.

ملخص:

الهدف من ه هذه المذكرة هو دراسة تاثيرالمعالجة الحرارية على الخصائص الميكانيكية و البنيوية لسبيكة الفولاذ

التي تستعمل عادة في الأدوات الميكانيكية مثلا جميع أنواع المحامل.لمتابعة التطورات الميكانيكية ل(100c6)منخفضة البنيوية استعملنا عدة طرق تجريبية مثل الشد و الصلابة والمجهر الضوئي .

-الصلابة تزيد بعد المعالجات الحرارية

-المقاومة الميكانيكية تنقص بعد المعالجات الميكانيكية

الكلمات المفتاحية: المعالجة الحرارية , سبيكة الفولاذ ,الشد ,الصلابة ,المجهر الضوئي

Résumé :

Le but de ce travail est l'étude de l'influence du traitement thermique sur les propriétés mécaniques et microstructurales de l'acier 100C6 faiblement allié utilisé généralement en mécanique d'outillage par exemple : Roulements de tous types. Pour suivre les évolutions mécaniques et structurales de cette nuance, plusieurs méthodes expérimentales ont été utilisées à savoir la traction et dureté et la microscopie optique.

Les résultats obtenus ont permis de montrer que :

- La dureté et augmente après les traitements thermiques.
- La Resistance mécanique diminue après les traitements thermiques.

Mots clés : traitement thermique ; l'acier ; la traction ; dureté ; la microscopie optique

Summary :

The aim of this work is to study the influence of heat treatment on the properties

Mechanical and microstructural characteristics of low-alloyed 100C6 steel generally used in tooling mechanics, for example: Bearings of all types. To follow the mechanical and structural evolutions of this nuance, several experimental methods have been used, namely tensile strength and optical microscopy.

The results obtained showed that:

- Hardness and increase after heat treatments.
- Mechanical resistance decreases after heat treatment.

Key words: heat treatment; Steel; traction ; hardness ; Optical microscopy

Sommaire

Remerciement ……...

Dédicace……

Sommaire ……...

Résumé……...

Introduction générale ……..

Chapitre 1 : Généralité sur les aciers

1. 1.introduction ……03

1.2. Fer et alliages ferreux ……03

1.2.1. Propriété et caractéristique du fer. ……..04

1.2.2.élément alphagènes et gammagènes ……04

1.2.3. Les différentes phases du système Fer-Carbone ……05

1.2.4. Diagramme d'équilibre du fer ……08

1.3. Les aciers ……10

1.3.1 Définition……....10

1.3.2 Les différentes classes d'aciers ……12

1.3.3. Aciers faiblement allié……14

1.3.4. Aciers au carbone……..15

1.3.5. Aciers à outil……15

1.3.6. Influences des éléments d'addition sur les propriétés des aciers..16

Chapitre 2 : Traitements thermiques et les transformations de phases à l'état solide des aciers

2.1 Introduction ……..…….20

2.2 Gammes des traitements thermiques de l'acier ……..21

2.2.1 Le recuit ……..22

2.2.2 La trempe ……25

2.2.3 Revenu ……28

2.3 Les transformations de phases à l'état solide des aciers……30

2.3.1 La transformation de l'austénite ……..30

2.3.2 Transformation perlitique ……..31

2.3.3Transformation martensite……..32

2.3.4 Transformation intermédiaire (bainitique) …….....33

2.4 Les courbes TTT et TRC d'acier faiblement allié ……34

2.4.1 Le diagramme TTT (Temps Température Transformation) .34

2.3.2 Diagramme TRC ……..35

2.4.3 Le diagramme TTT d'acier 100cr6 ……36

Chapitre3 : Matériau et méthode expérimentales

3.1 Matériau étudié……38

3.1.1 Composition chimique AFNOR 100C6…….38

3.1.2 PROPRIETES …….38

3.2 Caractérisations mécaniques ….....39

3.2.1 Essai de traction ……..39

3.2.2 Essai de dureté : Rockwell……....42

3.3 Méthodes expérimentales utilisées…….44

3.3.1 Traitements thermiques……..44

3.3.2 Etude métallographique ……49

3.3.3 Microscopie optique (MO) ……52

Chapitre 4 : Résultats expérimentaux et interprétation

4.1Introduction ……..53

4.2 Résultats et interprétations …….....53

4.2.1 Les résultats mécaniques (dureté et traction) ……...53

4.2.1. a .Les résultats mécaniques des traitements thermiques (1) …..53

4.2.1.b .Les résultats mécaniques de traitement thermique à trempe étagée……56

4.2.2Métallographie …….....59

Conclusion générale …….. 60

LES TABLEAUX

Tableau I.1. Les éléments chimiques en fonction du facteur……..14

Tableau I.2 : Influence des éléments d'additions sur les propriétés……19

Tableau III.1 : représente les compositions chimiques d'un acier 100C6 ……38

Tableau IV.1 : représente les résultats de dureté et traction d'un acier 100C6 avant et après les traitements thermiques……..53

Tableau 4.2 : représente les résultats de dureté et traction d'un acier 100C6 après trempe étagé de température 900°C à 800°C de temps de maintien(1) est 30 min avec revenu à 30°C……57

Liste des Figures:

Fig.I.1. tronsformation allotropique du fer 03

Fig.I.2. Évolution des domaines d'existence des variétés allotropiques du fe par addition 05

Fig.I.3. structure férritique 06

Fig.I.4.structure austénitique 07

Fig.I.5. structure pérlitique 07

Fig.I.6.diagramme métastable du ferc C 08

Fig.I.7diagramme de fer carbone restreint aux aciers 09

Fig.I.8.organigarmme de classification des aciers 11

Fig.II.1.cycle de traitement thermique des aciers 20

figII.2.organigramme du traitement thermique des aciers... 22

Fig. II.3. Cycle pour comprend le recuit ……23

Fig. II.4. Cycle de revenu……29

fig .II.5. Début de la transformation perlitique d'un acier eutectoïde……...31

Fig.II.6.transformation perlitique après la décomposition complète……...…….32

Fig.II.7.structure martensitique d'acier à 0,32 % C - 4,12 % Ni - 1,37 % C…….32

Fig.II.8.Structure bainitique (bainite inférieure)…….34

Fig.II.9. Courbe TTT (acier faiblement allié 0,35 % C)……..35

Fig.II.10. Courbe TRC et dureté après trempe. Le diagramme TRC se lit en suivant les courbes de refroidissement……..36

Fig.II.11.Diagramme TTT d'acier 100c6……37

Fig.III.1.exemple d'une éprouvette de traction……39

Fig.III.2.matériaux utilisée 100C6…….40

Fig.III.3. préparation des éprouvettes de traction…….40

Fig.III.4. éprouvette de traction utilisée……41

Fig.III.5.représente l'essai de la traction d'une éprouvette…….41

Fig.III.6. la machine de traction……42

Fig.III.7. rondelle d'acier utilisée……..43

Fig.III.8. l'empreinte d'essai de dureté : Rockwell ……43

Fig.III.9. Machine de dureté universelle Brinell, Vickers et Rockwell de l'UGB…....44

Fig.III.10. cycle de traitement thermique à température d'austénisation 800°C avec temps de maintien 30 min……..45

Fig.III.11.cycle de traitement thermique à température d'austénisation 850°C avec temps de maintien 30 min……..45

Fig.III.12.cycle de traitement thermique à température d'austénisation 900°C avec temps de maintien 30 min…….45

Fig.III.13.cycle de traitement thermique à température d'austénisation 850°C avec temps de maintien 20 min……..46

Fig.III.14.cycle de traitement thermique à température d'austénisation 850°C avec temps de maintien 50 min……..46

Fig.III.15. cycle de traitement thermique à température d'austénisation 850°C avec temps de maintien 70 min……47

Fig.III.16.cycle de traitement thermique de la trempe étagée avec temps de maintien 30min……..47

Fig.III.17.cycle de traitement thermique de la trempe étagée avec temps de maintien 50min…….48

Fig.III.18.cycle de traitement thermique de la trempe étagée avec temps de maintien 70min……48

Fig.III.18.four électrique……49

Fig.III.19.la machine de polissage à l'alumine……..50

Fig.III.20.représente la finition à la pate d'alumine……..50

Fig.III.21. représente la finition à la pate diamantée……..51

Fig.III.22.représente l'attaque chimique avec le nital ……51

Fig.III.22.Microscopie optique de type Hund……52

Fig.IV.1.courbe de dureté en fonction de température d'austénisation, avec un temps de maintien 30 min pour acier 100C6……..54

Fig.IV.2. courbe dureté en fonction du temps de maintien, température d'austénisation 850°C d'acier 100C6 des échantillons (4, 5,6)……55

Fig.IV.3. courbe de traction en fonction du temps de maintien d'un acier 100C6

(Échantillon avant le traitement + 2 échantillon à T= 850 °C et temps de maintien 30min et 50 min)……56

Fig.IV.4.courbe de dureté en fonction du temps de maintien d'un acier 100C6

après trempe étagé de température 900°C à 800°C de temps de maintien(1) est 30 min avec revenu à 300 °C……..57

Fig.IV.5courbe de traction en fonction de dureté d'un acier 100C6

après trempe étagé de température 900°C à 800°C de temps de maintien(1) est 30 min avec revenu à 300 °C……..58

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.

Par traitement thermique, on désigne toute opération faite à chaud et destinée à modifier la microstructure d'un métal pour lui donner de nouvelles caractéristiques. Pour les aciers au carbone et les aciers faiblement alliés, certains traitements sont quasi obligatoires pour obtenir une performance optimale.

Ces traitements sont la trempe et le revenu. Ils permettent de modifier et d'ajuster les propriétés mécaniques de l'acier: limite élasticité, résistance à la traction, ténacité, dureté et résilience aux besoins de l'utilisation. D'autres traitements, normalement désignés comme recuits, visent à amener le métal vers un équilibre structural et mécanique. Ils ont donc pour but de faire disparaître les états hors équilibre résultant des traitements antérieurs, thermiques ou mécaniques.

Notre choix s'est porté sur la nuance 100cr6 acier faiblement allié au chrome. Il est utilisé généralement en mécanique d'outillage par exemple :

Roulements à billes, à rouleaux ou à aiguilles, Cuvettes. Cames. Galets…etc.

Dans notre étude nous nous sommes intéressés en particulier, aux évolutions des caractéristiques mécaniques et microstructurales lors d'un traitement thermique de différentes températures d'austénisation et temps de maintien et trempe étagé.

Pour réaliser cette étude nous avons utilisé essentiellement l'essai de traction et l'essai de dureté.

- Le premier chapitre est consacré pour des généralités sur les aciers.
- Le deuxième chapitre présente les différents traitements thermiques qui sont généralement appliqués aux aciers et les transformations de phases à l'état solide dans les aciers.
- Le troisième chapitre contient les méthodes de préparation métallographiques et les moyens de caractérisation.
- Le quatrième chapitre fait l'objet des résultats obtenus et à leurs interprétations

Les principaux résultats seront portés dans une conclusion générale.

1.1 Introduction :

Le Fer est un élément chimique. Il est assez difficile d'obtenir du fer très pur, mais ce n'est pas gênant car les propriétés d'emploi du fer deviennent bien plus intéressantes et variées lorsqu'on lui ajoute des éléments d'alliage judicieusement choisis et dosés. [1]

1.2 Fer et alliages ferreux:

1.2.1 Propriétés et caractéristique du fer :

1. 2.1.a.Variétés allotropique et magnétique du fer :

Le Fer existe sous deux variétés allotropiques différentes, c'est-à-dire avec deux formes cristallines : CC et CFC.

- À des basses températures et jusqu'à 912°C (A3), ses atomes sont disposés suivant un réseau cubique centré (CC) : On l'appelle alors Fer α. Le feraα ne dissout pratiquement pas le carbone : 0.02%C au maximum à 723°C, moins de 0.01%C à 300°C.
- À des températures supérieures à 912 °C et jusqu'à 1394°C (A4) le réseau cristallin est du type cubiques à faces centrées (CFC) : on l'appelle Fer γ. Le fer γ dissout facilement le carbone : 0.8%C à 723°C, 2.14%C à1147°C.
- Au-dessus de 1394°C et jusqu'au point de fusion à 1538°C, le fer retrouve la structure cubique centrée du Fer α : On l'appelle alors Ferδ. Il dissout un peu mieux le carbone que le Fer α (0.07%C au maximum à 1493°C).
- Jusqu'à 768°C (A2) point de Curie, le fer est ferromagnétique, au-delà il devient paramagnétique. Le caractère ferromagnétique se dit d'une substance qui peut prendre une forte aimantation.

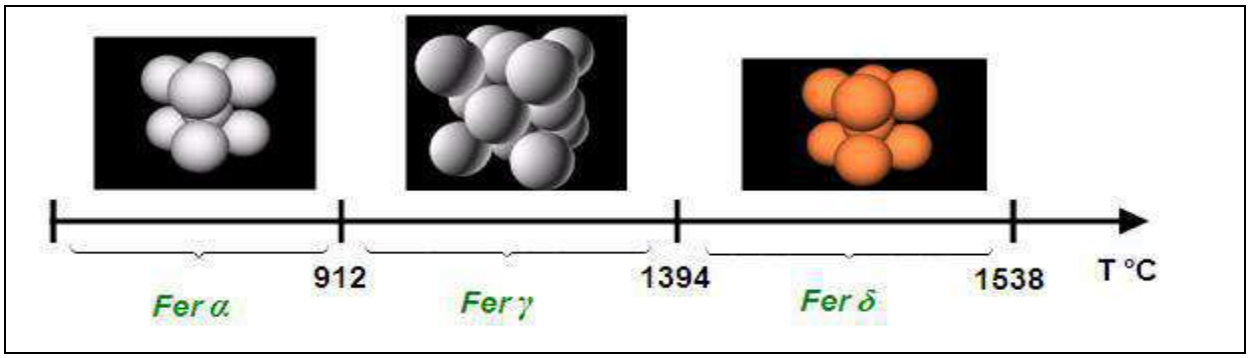


Figure. 1.1 Transformation allotropique du Fer. [2]

1.2.1.b. Propriétés physiques et mécaniques du fer :

- Masse volumique: ρ = 7870 kg.m-3
- Module d'élasticité longitudinal (module d'Young) E: 211400 N/mm2 ;(T=20°C)
- Module de Coulomb G : 81600 N/mm2 ; (T=20°C)
- Conductivité thermique: 73.3 W.m-1.K-1 ; (T=20°C)
- Coefficient de dilatation linéique (fer α à 20°C): α = 12.6.10– 6 .K– 1
- Résistivité électrique: 0.104 μΩ .m
- Caractéristiques mécaniques à 20°C (fer α pur):
- Résistance à la traction Rm = 180 à 290 MPa
- Limite d'élasticité Re = 100 à 170 MPa
- Allongement à la rupture A % = 40 à 50% [3] ; [4]

1.2.2 Éléments alphagènes et gammagènes :

Le fer métallique existe sous deux formes cristallines :

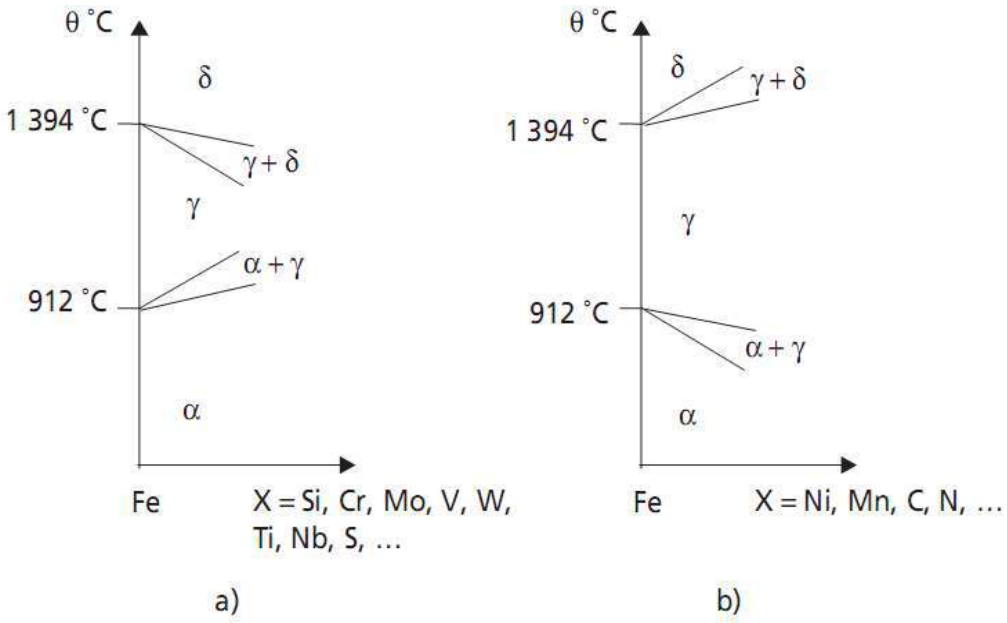
1) La variété cubique centrée, stable au-dessous de 910°C (fer α) et au-dessus de 1400°C (fer δ). Les solutions solides dans le fer α sont appelées ferrites.

2) La variété cubique à face centrée, stable entre 910°C et 1400°C (fer γ). Les solutions solides dans le fer γ sont appelées austénites.

Les éléments d'addition ont des solubilités très différentes dans ces deux variétés. Ce fait entraîne l'existence de domaine de transformations très différentes en présence d'éléments d'addition (Figure 1.2). Dans le fer pur, le passage de fer α au fer γ se produit à une température définie. La présence d'un élément d'addition entraîne l'apparition d'un domaine plus au moins étroit dans lequel les deux variétés allotropiques peuvent coexister en équilibre.

Les diagrammes permettent de classer les éléments d'addition en deux types : [5]

- Les éléments gammagènes qui abaissent cette température (parce qu'ils augmentent la stabilité du fer γ et de ce fait abaissent les limites du domaine d'existence de l'austénite); ce sont essentiellement le nickel et le manganèse auxquels on peut ajouter le cuivre (peu utilisé comme élément d'alliage),
- Les éléments alphagènes qui relèvent cette température (parce qu'ils augmentent la Stabilité du fer α et de ce fait élèvent les limites du domaine d'existence de la ferrite); ce sont les plus nombreux des éléments d'alliage tels chrome, silicium, molybdène, vanadium, tungstène, titane. [6]



D'éléments d'alliage alphagènes D'éléments d'alliage gammagènes

Figure. 1.2. Évolution des domaines d'existence des variétés allotropiques du fer par addition [3]

1.2.3 Les différentes phases du système Fer-Carbone :

a) La ferrite α :

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

b) La ferrite δ :

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

c) 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 ≈2%C à 1145°C. Il est stable qu'à haute température. L'austénite est très ductile.

d) La cémentite (Carbone de fer Fe3C) :

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.

e) 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≈200), résistante (Rm≈850 MPa) et assez ductile (A%≈10). [2]

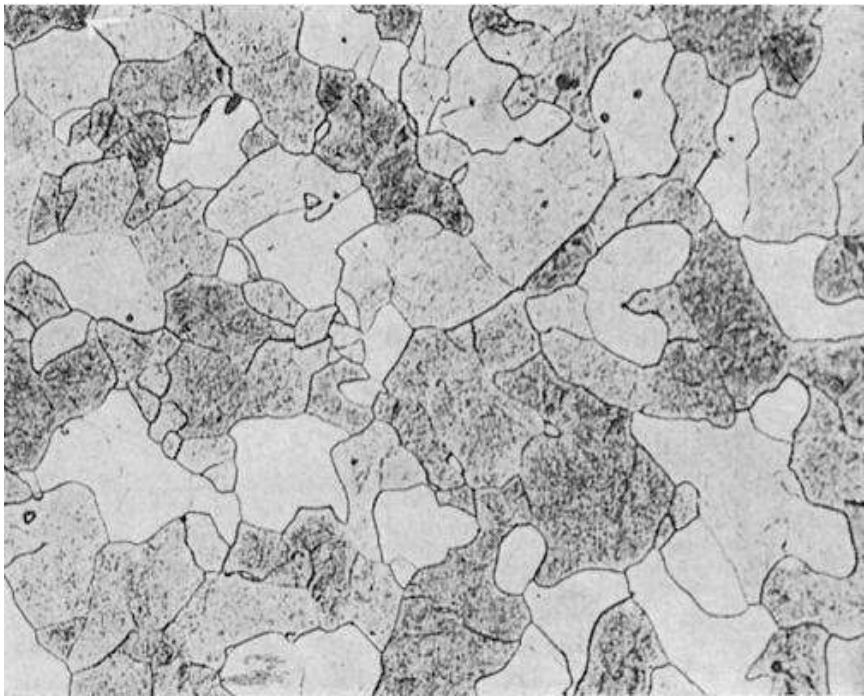


Figure. 1.3 : Structure ferritique
(Fer Armco, Traitement : 950 °C (30 min) – four, Attaque Nital (3 %), Grossissement : 180)
[7]

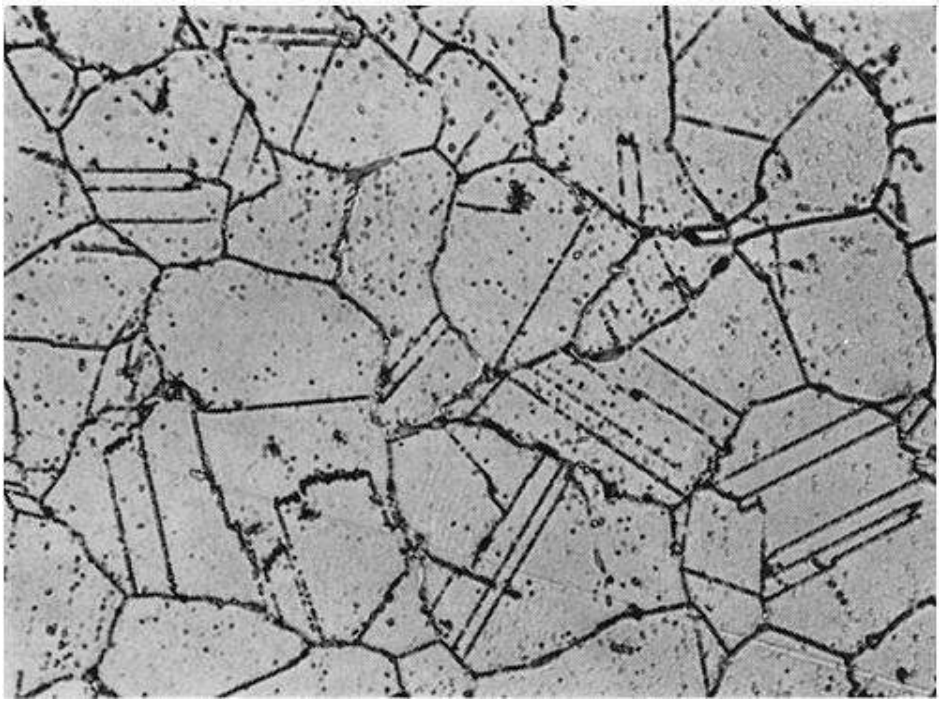


Figure. 1.4 : Structure austénitique (avec précipités de carbures)
Acier à 0,12 % C - 25 % Cr - 20 % Ni - 1,5 % Mn - 1,5 % Si Traitement : 1 125 °C (1 h) - eau - 800 °C (30 min)
Attaque électrolytique (acide oxalique 10 %) Grossissement : 900 [7]

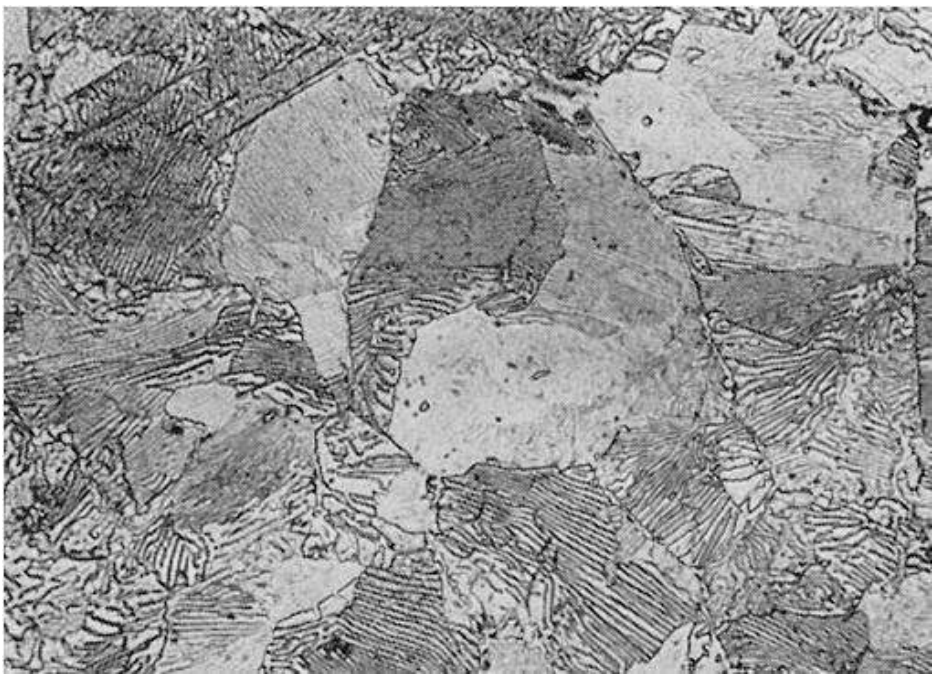


Figure. 1.5 : Structure perlitique
Acier à 0,8 % C - 0,21 % Mn - 0,22 % Si Traitement : 800 °C (30 min) – four Attaque Nital (3 %) Grossissement : 900 [7]

1.2.4 Diagramme d'équilibre du fer :

Le plus important de tous les systèmes d'alliages binaires est probablement celui du fer et du carbone. Les aciers et les fontes, matériaux structuraux essentiels dans toute société technologiquement avancée, sont essentiellement des alliages fer-carbone. La présence section est axée sur l'étude du diagramme d'équilibre de ce système et sur la formation de plusieurs microstructures possibles.

1.2.4.a) Diagramme métastable :

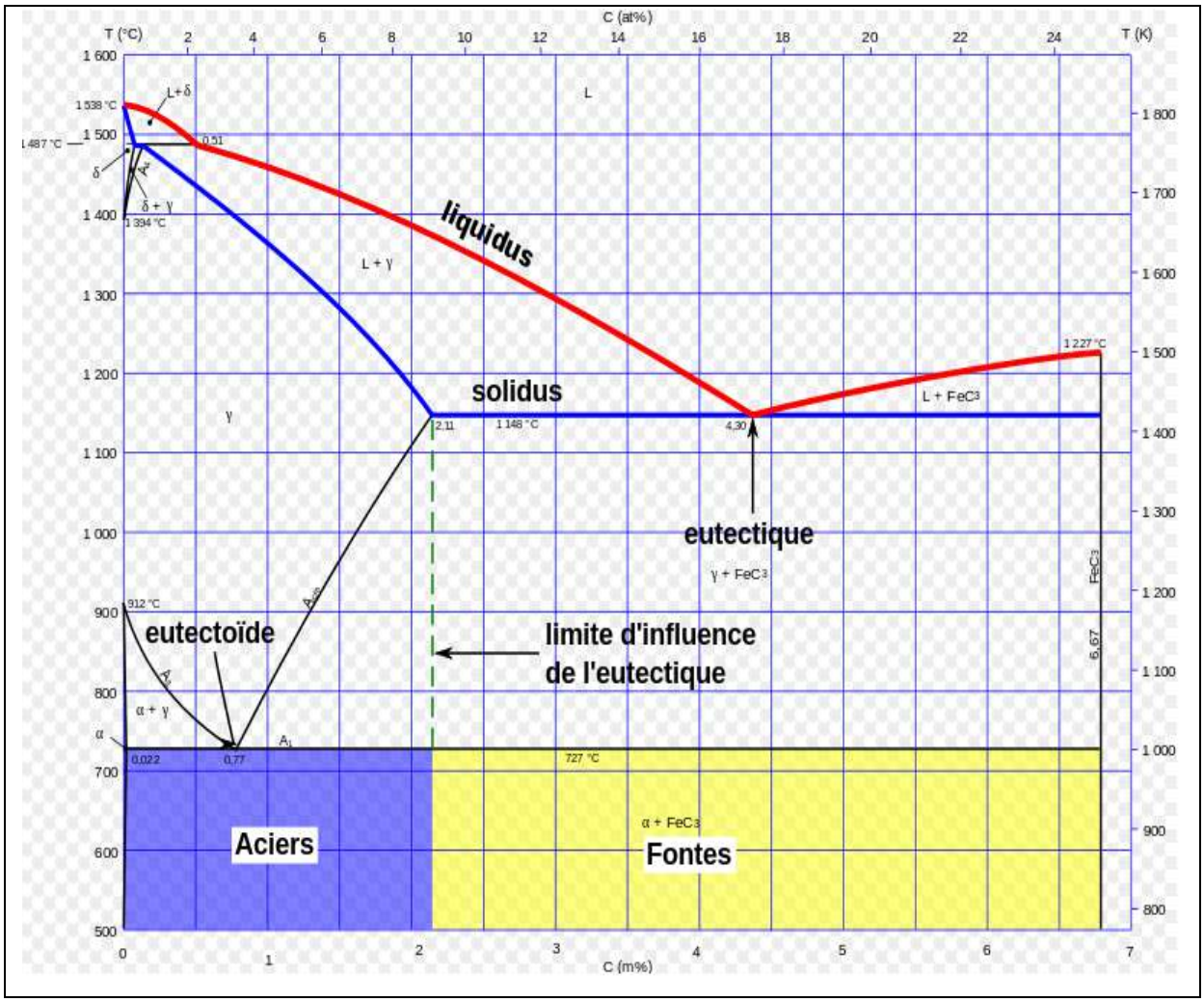


Figure 1.6. Diagramme métastable Fe3-C [2]

1.2.4.b) Analyse du diagramme Fer-carbone à cémentite :

Le diagramme d'équilibre Fer-carbone est très utile pour comprendre les aciers, les fontes et les traitements thermiques. Il est limité à droite par la cémentite Fe3C (6.67%C) est fait apparaître les deux grandes familles de métaux ferreux : les aciers (entre 0.008%C et 2%C) et les fontes (de 2%C à 6.67%C). [2]

a. Courbes :

- **Acm :** indique la fin de la dissolution après dissociation, de la cémentite dans l'austénite lorsque celle-ci existe.
- **A0 :** (210°C) précise la température de la transformation magnétique de la cémentite.
- **A1 :** précise la fin de la transformation au refroidissement de l'austénite. L'austénite n'existe plus au-dessous de cette ligne.
- **A2 :** (point de Curie ≈ 768°C) précise la température de la perte de magnétisme du Fer α. en générale ce point ne figure pas sur le diagramme Fer-C.
- **A3 :** précise la fin de la transformation au chauffage de la ferrite en austénite .La ferrite n'existe plus au-dessus de cette ligne.
- **A4 :** précise la fin de la transformation au chauffage de l'austénite en ferrite δ et/ou liquide. L'austénite n'existe plus au-dessus de cette ligne.

On peut trouver Ac3, Ac4… pour indiquer que le point est tracé en chauffage, ou Ar3, Ar4 lorsqu'il s'agit de refroidissement. [2]

b. Les transformations :

Le diagramme Fer-carbone contient trois réactions isothermes caractérisées par des paliers :

- **Eutectique à 1147°C** : il marque la température minimale d'existence du liquide.
- **Eutectoïde à 723°C (A1)**. Il marque la fin de la transformation au chauffage de la perlite en austénite. Au-dessus de 723°C, la perlite n'existe plus
- **Péritectique à 1487°C**, mais d'importance négligeable de point de vue industrielle. [2]

1.3. Les Aciers :

1.3.1 Définition :

Selon le dictionnaire ROBERT, un acier est un « alliage de fer et de carbone (moins de 1,5 %) auquel on donne, par traitement mécanique ou thermique, des propriétés variées (malléabilité, résistance...) ».

Selon la norme NF EN 10020 (qui en juin 1989 a remplacé la norme NF A 02-025), « acier un matériau dont le fer est l'élément prédominant, sa teneur en carbone est généralement inférieure à 2 % et il contient d'autres éléments ; un nombre limité d'aciers au chrome peut avoir une teneur en carbone supérieure à 2 %, mais cette valeur de 2 % est la teneur limite courante qui sépare l'acier de la fonte ».

À la lecture de ces deux définitions, on constate que la limite supérieure de la teneur en carbone des alliages Fe-C susceptibles de s'appeler des aciers (par différence avec les fontes) est délicate à préciser. C'est la raison pour laquelle il peut être préférable d'adopter un point de vue plus métallurgique en prenant en compte la différence intervenant lors de la solidification de ces alliages. [9]

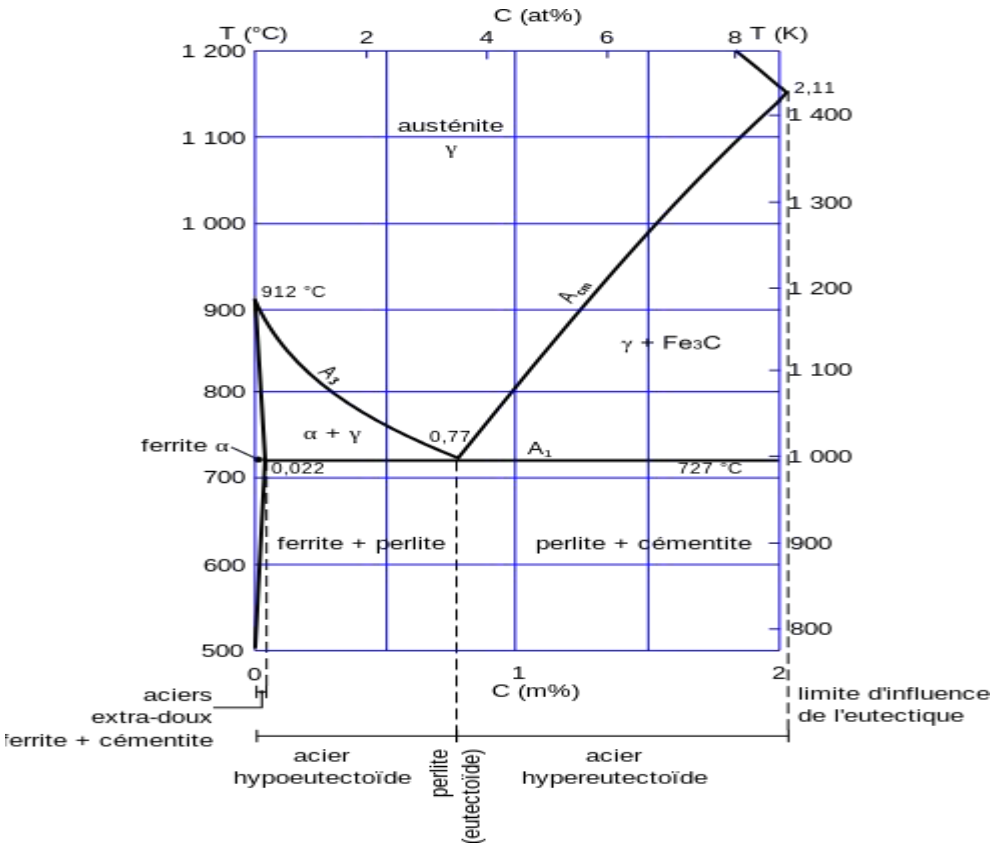


Figure 1.8. Diagramme fer-carbone restreint aux aciers [9]

1.3.1.a) Les Aciers hypo-eutectoïdes et hyper-eutectoïdes :

Aciers hypo-eutectoïdes :

Les aciers subissant au cours de leur refroidissement la réaction eutectoïde (% C > 0,02%) et dont la teneur en carbone est inférieure à 0,8%

Aciers hyper-eutectoïdes :

Les aciers dont la teneur en carbone est supérieure à 0,8%

1.3.1.b) Constitution et répartition des constituants :

L'acier eutectoïde (0,8% en masse de C) :

- Hautes températures, l'alliage ne contient que la phase d'austénite

- Lors du refroidissement, aucun changement avant d'atteindre la T eutectoïde (~ 727°C)
- En dessous de cette T la totalité de l'austénite est précipitée en perlite

L'acier hypo-eutectoïde (8.10^{-3} à 0,8% en masse de C) :

- Hautes Température : l'alliage ne contient que la phase d'austénite
- En refroidissant 2 phases coexistent : l'austénite et la ferrite
- En dessous de Température eutectoïde, la totalité de la phase d'austénite se transforme en perlite alors que la phase de ferrite ne subit que peu de modification

Ces aciers sont les plus utilisés industriellement

L'acier hyper-eutectoïde (0,8 à 2% en masse de C)

- à haute Température
- Au refroidissement, formation d'une seconde phase (cémentite)
- En dessous de Température eutectoïde, l'austénite restante se transforme en perlite

Ces aciers sont peu utilisés industriellement (très fragiles) [8]

1.3.2 Les différentes classes d'aciers :

Les familles d'aciers sont classées en deux critères :

A- La composition chimique : nature et teneur des éléments d'alliage, aciers non alliés (≤1% d'éléments d'alliage), aciers peut alliés (teneur de chaque éléments d'alliage ≤5%), aciers très alliés.

B- Propriétés d'usage ou qualité : aciers de qualité, aciers spéciaux, (aciers d'usage général, aciers de construction mécanique, aciers pour appareils à pression, aciers à outils, aciers inoxydables). [9]

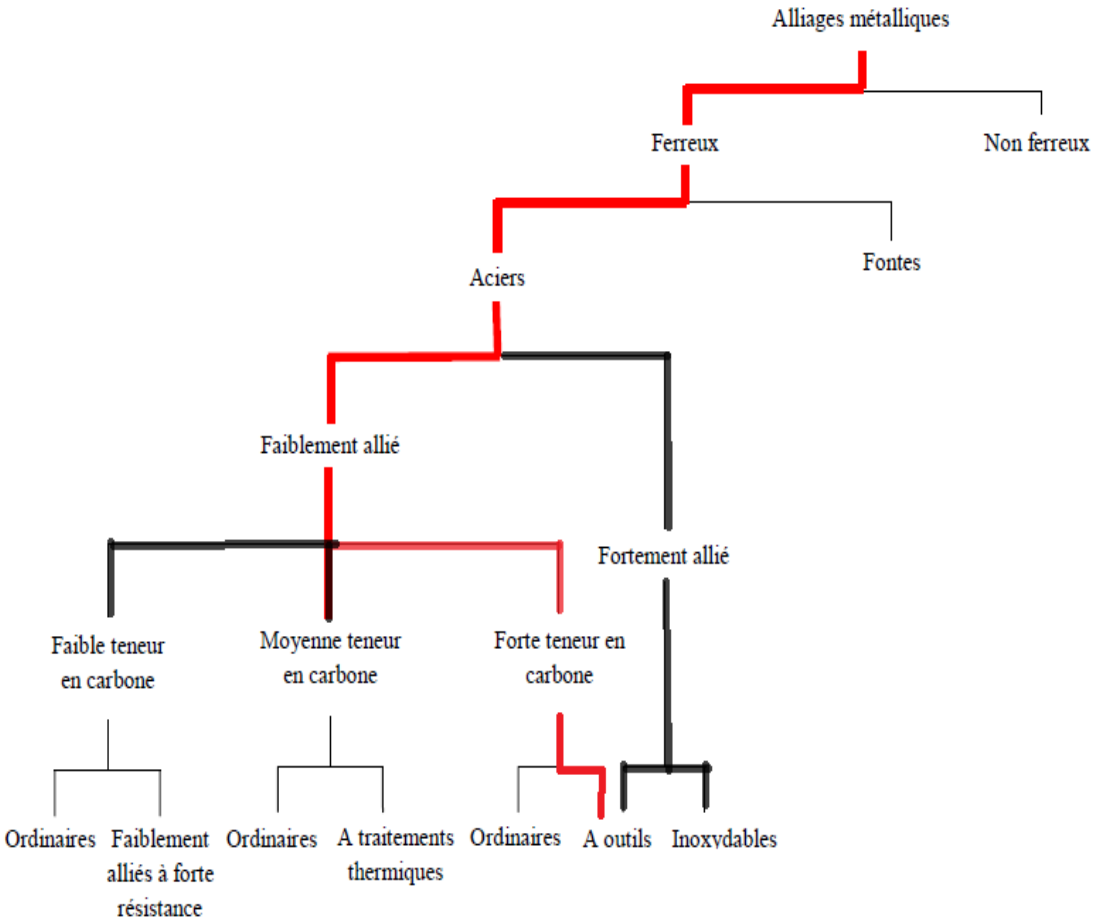


Figure1.9 organigramme de classification des aciers [10]

Les aciers sont des alliages fer-carbone qui comportent aussi une concentration appréciable d'autres éléments. Il existe des milliers d'alliages de ce type dont la composition est différente, de même que les traitements qu'ils ont subis. Les propriétés mécaniques dépendent de la teneur en carbone, laquelle est normalement inférieure à 1%m.

On classe quelques-uns des aciers les plus courants selon leur concentration en carbone, à savoir les aciers à faible teneur en carbone. Chaque groupe se subdivise en sous-groupes selon la concentration des autres éléments d'alliage. Les aciers au carbone ordinaires ne contiennent que des concentrations résiduelles en impuretés autres que le carbone et un peu de manganèse. Quant aux aciers alliés, on leur ajoute davantage d'éléments d'alliage en concentration précises. [10]

1.3.3 Aciers faiblement alliés :

Ces aciers sont désignés par:

- Un chiffre représentant le centuple de la teneur en carbone.
- Les symboles chimiques des éléments d'alliage dans l'ordre décroissant de leur teneur.
- Les teneurs des éléments d'alliage sont multiplié par un facteur dépendant du matériau

1.1 Tableau. Les éléments chimiques en fonction du facteur [11]

Elément	***Facteur***
Cr, Co , Mn , Ni , Si , W	**4**
Al, Be , Cu , Mo , Nb , Pb , Ta ,Ti , V , Zr	**10**
Ce, N , P , S	**100**
B	**1000**

Aciers faiblement alliés : % carbone×100 + éléments d'alliage + %×facteur

Si l'acier est moulé, la désignation est précédée d'un G

- Ce sont des aciers dont la teneur de chaque élément d'addition est inférieur à 5 % et dont la teneur en manganèse est inférieure à 1%
- Ce sont des aciers pour traitements thermiques.
- Les éléments d'addition améliorant les caractéristiques mécaniques, la résistance à la corrosion, le comportement des matériaux face aux traitements thermiques.

Exemple d'application:

100 Cr 6 Acier pour roulement à billes. [11]

1.3.4 Aciers au carbone :

Les aciers au carbone sont des aciers pouvant contenir jusqu'à 1.7% de carbone et quelques autres éléments en faible quantité, exception faite des éléments pour désoxyder le bain de fusion, à savoir le silicium (jusqu'à 0,6%) et le manganèse (jusqu'à 1,6%).

Ces aciers sont encore appelés aciers non alliés. On retrouve l'acier au carbone dans plusieurs applications car il est facilement formable, usinable, soudable et très économique à utiliser. De plus, on peut aisément modifier ses propriétés mécaniques par différents traitements thermiques (recuit, normalisation, trempe, etc).

1.3.5 Aciers à outil :

Les aciers à outils sont des aciers au carbone et alliés à plus de 0,5 % C. Ils sont caractérisés par :

- Une dureté élevée (60 à 65) HRC.
- Une grande résistance à l'usure.
- Une forte résistance mécanique.

Dans le cas général; ce sont des aciers hypereutectoïdes et lédéburitiques, dont la structure après trempe et revenu à basse température se compose de martensite et de carbures. Pour les outils qui demandent une ductilité relativement élevée (matrices de formage à chaud), on emploie des aciers hypoeutectoïdes. Après trempe et revenu à haute température, ils acquièrent une structure de sorbite.

On distingue actuellement quatre classes d'aciers à outils :

- Classe 1 : aciers au carbone pour travail à froid.
- Classe 2 : aciers alliés pour travail à froid.
- Classe 3 : aciers pour travail à chaud
  - avec chocs : forgeage, estampage, matriçage.
  - Sans chocs : moules, pièces de filage.
- Classe 4 : aciers à coupe rapide.

Les aciers à outils sont repérés, indépendamment de la désignation normalisée, par quatre chiffres :

- Le premier indique la classe.

- Les trois autres dépendent du groupe, du sous-groupe d'emploi et des éléments d'alliages dominants. [12]

1.3.6 Influences des éléments d'addition sur les propriétés des aciers :

Les éléments d'addition ajoutés à l'acier ou alliage métallique à base de fer (Fe + C), jouent un rôle particulier sur les caractéristiques générales, ou un rôle commun lorsque plusieurs éléments d'addition sont présents dans la composition chimique finale. Les éléments d'alliage se repartissent le ferγ. [13]

a)carbone :

Elément essentiel pour durcir l'acier, et la variation de la dureté HRC en fonction de la teneur en carbone d'un acier non allié. Au-delà de 0.6% de carbone, on atteint la zone des aciers à outils caractérisée par de hauts niveaux de dureté et qui correspond au domaine des aciers de travail à froid des aciers à coupe rapide. L'augmentation progressive de la teneur en carbone conduit à une réduction des domaines de température correspondant à la transformation à chaud et au traitement thermique. [13]

b) chrome :

Cet élément est utilisé dans la plupart des aciers à outils, en quantité allant de 0.5 à 17%. Le chrome joue un rôle essentiel dans l'augmentation de la trempabilité. Il forme des carbures qui participent à la résistance à l'abrasion et s'opposent au grossissement de grains lors de l'austénitisation. Il provoque, par ailleurs, un certain retard à l'adoucissement lors du revenu, ce qui améliore la résistance à chaud. Il entraîne également une très forte réduction de l'oxydation à haute température. [13]

c) Tungstène :

Le tungstène ne se met que très peu en solution dans la cémentite, mais donne naissance à des carbures de haute dureté conférant aux aciers une grande résistance à l'usure.
De plus il offre, il offre la possibilité de durcissement secondaire.
Par la présence de carbures primaires, le tungstène diminue la tendance des aciers au grossissement du grain par surchauffe.

Sa forte masse atomique en font un élément très ségrégé, d'ou une augmentation sensible de l'hétérogénéité de l'acier.

Les aciers à outils au tungstène sont peu sensibles à la décarburation, mais ont une résistance thermique assez faible. [13]

d) Molybdène :

Ils se comportent comme le Tungstène.

Les aciers au molybdène présentent par rapport aux aciers au tungstène, un certain nombre d'avantages et d'inconvénients :

Avantages : meilleure ductilité et densité plus faible.

Inconvénients : plus grande sensibilité á la décarburation et au phénomène d'oxydation catastrophique pour des maintiens entre 1000 et 1100 °C, plus grande sensibilité au phénomène de surchauffe, d'où réduction de la fourchette de température de trempe. [13]

e) Silicium :

II se trouve dans tous les aciers á outils à une teneur voisine de 0,3 %, car il est utilisé comme désoxydant dans l'acier liquide au stade final de l'élaboration. Il peut être avantageux d'augmenter sa teneur jusqu'aux environs de 1 % pour plusieurs raisons

- Réduction de la sensibilité á l'oxydation catastrophique entre 1000 et 1100 °C pouvant contrebalancer les influences néfastes du molybdène et du vanadium;
- Augmentation de la trempabilité par effet de synergie avec des éléments comme le molybdène
- Augmentation de la dureté et de la résistance á l'adoucissement dans le domaine de température de revenu 150-300 °C [13]

f) Manganèse :

Le Manganèse a, sur le comportement des aciers à outils, une influence analogue á celle du nickel. II se trouve, en général, présent comme élément résiduel á des teneurs comprises entre 0,3 et 0,5 %.

Certains aciers à outils contiennent jusqu'à 2 % de manganèse pour des problèmes de trempabilité et, jusqu'à 1 % de cet élément lorsqu'ils sont resulfuré. [13]

g) Soufre :

Le soufre, incorporé dans les aciers à outils jusqu'à des teneurs voisines de 0,1 %, permet d'améliorer l'usinabilité et l'état de surface des outils. Cette amélioration est d'autant plus importante que l'acier contient plus de carbone et d'éléments carburigènes.

La réduction de ductilité provoquée par les additions de soufre n'est pas très importante dans le domaine des aciers à outils car les inclusions de sulfures sont en général associées aux carbures. Pour des teneurs en soufre supérieures à 1 %, les propriétés de résistance à l'usure de l'acier sont fortement affectées. [13]

h) Phosphore :

Il existe en solution dans la ferrite et provoque un grossissement du grain, ce qui augmente la fragilité de l'acier à froid. En se ségrégant facilement, contribue à l'hétérogénéité de l'acier. Sa teneur doit être limitée de 0,025 à 0,040%.

Le phosphore augmente la limite élastique et la charge de la rupture tout en diminuant considérablement la plasticité et la ductilité. [13]

i) Nickel :

Le nickel, à l'exception de certains aciers d'outillages à chaud, se trouve simplement comme élément résiduel dans les aciers à outils, à des teneurs inférieures á 0,3 %.
En raison de son influence directe sur le taux d'austénite résiduelle après trempe, cet élément entraîne des difficultés de traitement thermique au revenu dans les aciers à outils chargés en carbone et éléments carburigénes.

Il a une influence favorable sur la trempabilité, la résistance aux chocs et la ténacité des calamines, ainsi que son influence plutôt défavorable sur la résistance au revenu. [13]

Tableau 1.2 : Influence des éléments d'additions sur les propriétés. [8]

Caractéristiques	Eléments d'addition									
	Cr	Co	Mn	Mo	Ni	Ti	W	V	P	Si
Trempabilité	++	–	+++	+++	++	++	+++	+++	+	++
Durcissement ferrite	+	+++	++	+	+			+	++	+
Revenu	ds			ds				ds		
Dureté et résistance mécanique	++	+	++	++	+	+	+	+	+	+
Ductilité	–		+	+	+	+	+	+	–	–
Résilience	+	+	+	+	+	+	+	+		
Soudabilité	–		+	+				+		–
Forgeabilité			+	+	+			+		
Usinabilité	–	+			–				+	–
Résistance à la corrosion et à la chaleur	++			+	+	+	+			–

+ favorable, – défavorable, ds : durcissement secondaire

2.1 Introduction :

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 èlastique Rem, Re, 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 subit 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 lesquels on recherche principalement une augmentation de la limite élastique et une diminution de la fragilité.

En général les traitements thermiques ne Changent pas la composition chimique de l'alliage. [14]

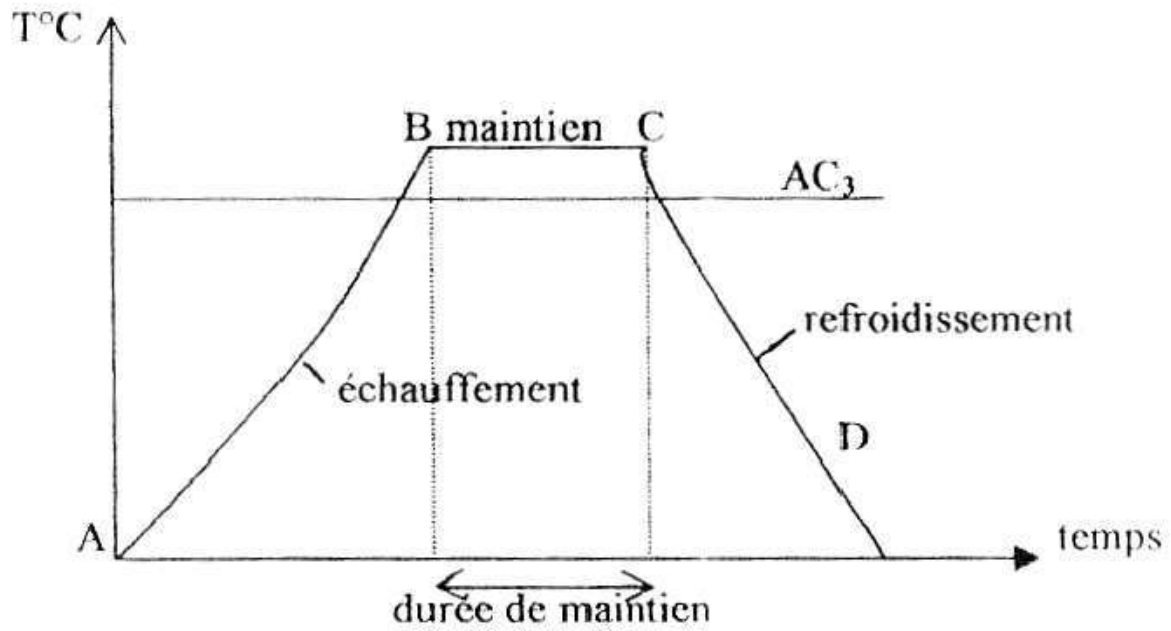


Figure 2.1 cycle de traitement thermique des aciers [14]

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

- BC : Maintient à une température définie.
- CD : Refroidissement avec une vitesse donnée :
  - lente (dans le four, à l'air).
  - Assez rapide (dans l'huile).
  - Très rapide (dans l'eau).

Objectif : améliorer les performances des aciers

Moyen : traitements thermiques intéressant si les paramètres des traitements sont parfaitement maîtriser

Idée : les propriétés des aciers sont liées à leurs microstructures.

Les traitements thermiques est de faire évoluer la microstructure en fonction des besoins d'utilisation de l'acier.

2.2. Gammes des traitements thermiques de l'acier :

Les modes principaux de traitement thermique qui modifient de diverses manières la structure et les propriétés d'un alliage par des opérations de chauffage jusqu'à une certaine température, de maintien à cette température, et suivies d'un refroidissement à une vitesse plus ou moins accélérée sont :

- Le recuit.
- La trempe.
- Le revenu et le vieillissement.

Les principaux facteurs qui permettent de distinguer entre les différents types de traitements thermiques sont la température de maintien et la vitesse de refroidissement.[15]

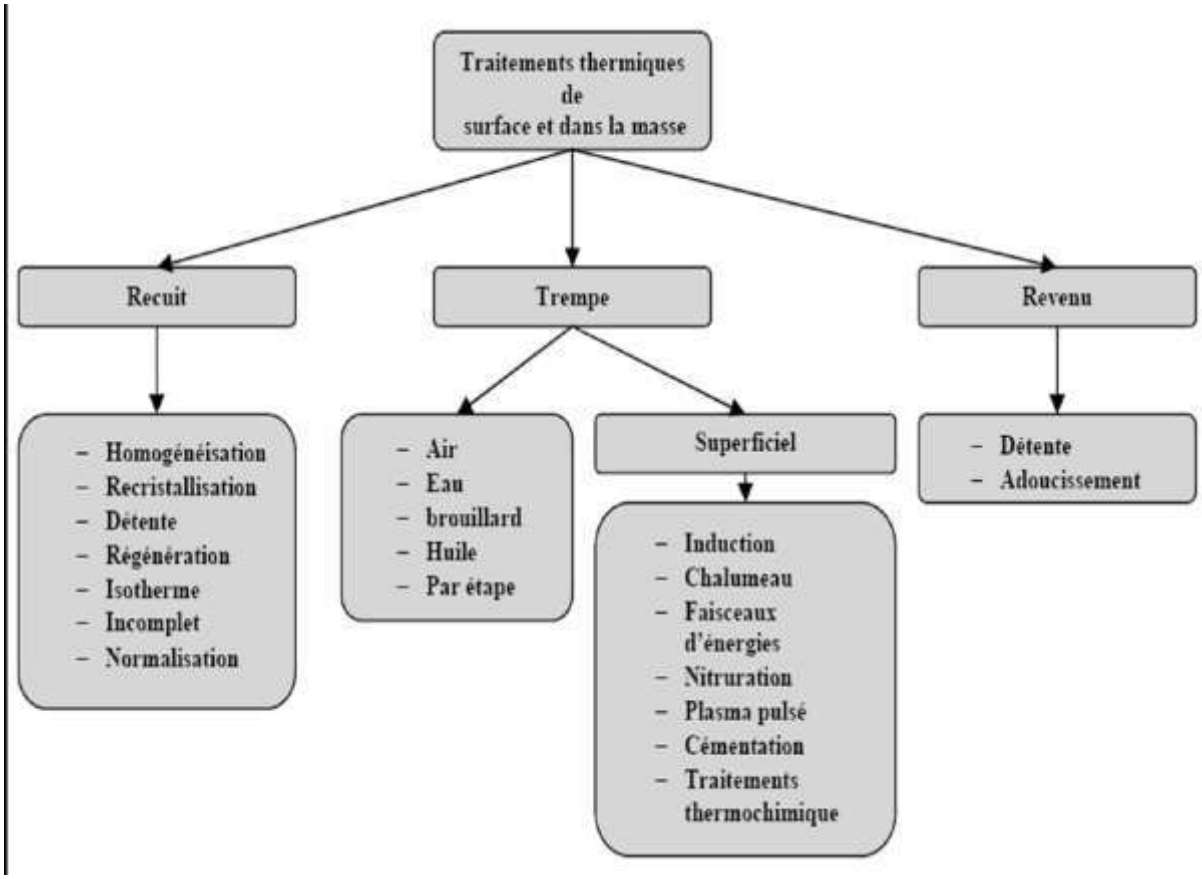


Figure 2.2 : organigramme traitement thermique [16]

2.2.1 Le recuit :

Les aciers possèdent un caractère apte d'acquérir grâce à des traitements thermiques variés, toute une gamme de propriétés très différentes. Les recuits en général amèneront les alliages en équilibre physico-chimique et mécanique. Ils tendent à réaliser l'équilibre structural en faisant disparaître les états hors d'équilibre résultants des traitements thermiques et mécaniques antérieurs.

Opération thermique qui annule les effets des traitements thermiques ou mécanique antérieurs
Température > *AC*3 : homogénéisation, normalisation.
Température < *AC*3 : adoucissement, recristallisation, détente.

Le recuit correspond aux valeurs maximales des caractéristiques de ductilité. (résilience et allongement) et aux valeurs minimales des caractéristiques de résistance (dureté, limite élastique, charge à la rupture). Le recuit a pour but de :

- Diminuer la dureté d'un acier trempé.

- Obtenir le maximum d'adoucissement pour faciliter l'usinage ou les traitements mécaniques.
- Régénérer un métal écroui ou surchauffé.
- Homogénéiser les textures hétérogènes.
- Réduire les contraintes internes. [14][15]

2.2.1.a) Le cycle thermique d'un recuit comprend :

a. Un chauffage jusqu'à une température dite de recuit qui dépend du type de recuit à réaliser.

b. Un maintien isotherme à la température de recuit ou des oscillations autour de cette température.

c. Un refroidissement très lent généralement à l'air calme. La vitesse de refroidissement doit être inférieure à la vitesse critique de recuit

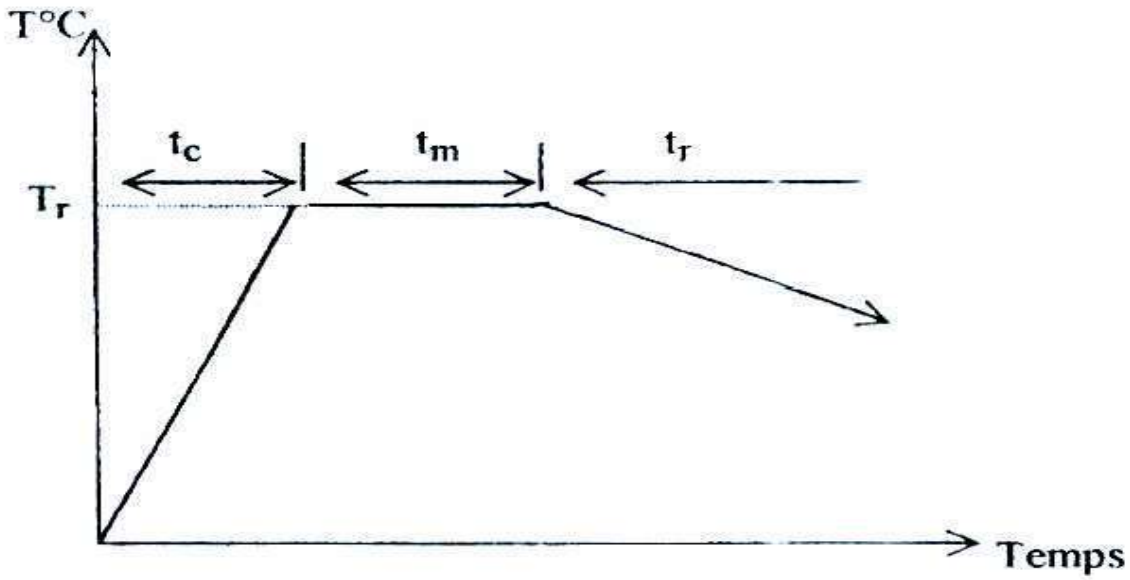


Figure 2.3 cycle pour comprend le recuit. [14]

Tr : température de recuit.

tc : temps de chauffage.

tm : temps de maintien

tr :temps de refroidissement

2.2.1.b) Différent types de recuit :

- **Recuit d'homogénéisation**

Il se pratique après moulage ou corroyage, `a haute température (950 → 1200 °C). La vitesse de refroidissement ne doit pas être trop élevée : de 20 `à 60 °C par heure.

- **Recuit de normalisation**

On l'applique après un maintien `à haute température (moulage, forgeage, homogénéisation) pour augmenter la grosseur du grain. Normalisation : affinage du grain pour obtenir un état structural de référence (avant la trempe par exemple).

La finesse du grain est proportionnelle `a la vitesse de chauffe. La température de traitement est d'environ $AC3$+50°C.

Le refroidissement $AC3 \rightarrow AC1$ est rapide (pas trop sinon c'est trop dur), puis le refroidissement s'effectue `a l'air.

- **Recuit d'adoucissement ou de globulisation**

Permet d'obtenir une structure correspondant `a la dureté minimale de l'acier pour faciliter la mise en forme `a froid ou l'usinage par outils coupants.

Après traitement, on obtient une structure de perlite globulaire dans une matrice ferritique. Pour affiner le grain, on peut faire un recuit de normalisation avant l'adoucissement

Pour les aciers Hypoeutectoides (% C < 0.80) le chauffage pendant à AC3+30°C

Le chauffage des aciers Hypereutectoides (% C > 0.80) à température ≈ AC1 ou >AC3 pour homogénéiser la structure.

Le refroidissement 20 °C/h jusqu'à 600°C puis à l'air jusqu'à $T \leq AC1$ (700°C), maintien pendant ≈ 10h

- **Recuit de détente (ou stabilisation ou relaxation)**

Il vise `a éliminer les contraintes internes produites par la mise en forme, la solidification, le soudage ou l'usinage.

On chauffe la pièce jusqu'`a une température comprise entre 600 et 650°C, puis on refroidit lentement.

- **Recuit de recristallisation**

Il s'effectue après une déformation `a froid (emboutissage, extrusion, étirage `a froid, ...) qui provoque toujours un écrouissage et l'augmentation de certaines caractéristiques

mécaniques (σe, dureté, ...). Ce traitement permet une restructuration des caractéristiques initiales du matériau. Température de recristallisation : elle dépend du taux d'écrouissage de la pièce. Par exemple : 75% → 300°C, 5% → 700°C pour des aciers non alliés.

- **Recuit de grossissement du grain**

C'est un traitement qui se fait au dessus de la température critique pour le grossissement du grain avec un refroidissement lent. La structure confère au matériau une faible ténacité, ce qui est indésirable en général, mais on obtient une amélioration de l'usinabilité. On usine donc puis on fait un recuit de normalisation pour affiner le grain

- **Recuit magnétique**

Il est appliqué aux pièces en fer pur utilisées dans les appareils électromagnétiques. Il redonne au fer ses propriétés magnétiques qu'il perd à la suite de déformations plastiques qu'il a pu subir.

Les recuits se situent en général après la mise en forme (forgeage, moulage, soudage), et quelques fois après l'ébauche (recuit de détente). [15]

2.2.2 La trempe :

La trempe consiste à un chauffage de l'acier à une température de 30 à 50°C au dessus de la ligne GOSK supérieure à celle de AC3, pour les aciers hypoeutectoides et supérieure à AC1, pour les aciers hypereutectoides.

A cette température l'acier est maintenu jusqu'à l'achèvement du chauffage complet c'est à dire 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 et 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 HV = 700 à 800 Kp/mm² ou 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. [14]

2.2.2.a) 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

- **Austénisation :**

Chauffage jusqu'à une température élevée permettant la formation de l'austénite. Il est nécessite d'avoir :

- une température uniforme dans toute la pièce
- un maintien en température assez long pour permettre une homogénéisation complète de l'austénite.

La température d'austénisation dépend de la teneur en carbone et des éléments d'addition. La durée de maintien est variable, elle dépend beaucoup de la géométrie de la pièce. Elle se situe en général entre 15 et 30 minutes

- **Refroidissement :**

But : transformer l'austénite en martensite ou bainite, plus durs. La méthode de refroidissement dépend du constituant et de la structure souhaitée

2.2.2.b) Différent types de trempe :

- **Trempe martensitique :**

Elle provoque l'apparition d'une structure martensitique ayant une dureté très élevée. Les lois de refroidissement peuvent être continues ou discontinues.

- **Trempe bainitique :**

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

- **Trempe des aciers austénitiques 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

2.2.2.c) Qualité de trempe :

Facteurs influençant la qualité de la trempe :

- pouvoir refroidissant du bain
- masse de la pièce : plus la pièce est grosse, plus le refroidissement n'est pas homogène.
- conductibilité thermique
- état de surface

2.2.2.d) Aptitude à la trempe :

L'aptitude d'une pièce `a la trempe dépend :

- de l'intensité du durcissement : correspond `a le dureté maximale (martensite) que l'on peut espérer. Elle dépend de la teneur en carbone en solution dans l'austénite.
- de la trempabilité : variation de dureté entre le cœur et la surface d'une pièce. Elle dépend des quantités de carbone et des éléments d'alliages en solution dans l'austénite.

La trempabilité dépend :

- de la composition chimique
- des conditions d'austénisation
- de la grosseur du grain austénitique

2.2.2.e) Recommandations :

Il faut éviter les chocs thermiques (fissuration. . .)

La température de chauffage se situe entre 30 et 75 °C au dessus de ligne $AC3$ (850 → 900 °C). Pour les aciers rapides ou les inox, la température d'austénisation peut atteindre 1300 °C.

Le temps de maintien ne doit pas être trop court pour permettre une austénisation complète, pas trop long pour éviter une augmentation de la grosseur du grain qui diminuerait la dureté finale. Attention aux variations de refroidissement entre le cœur et la surface de la pièce.

La trempe se situe entre l'ébauche et la finition.

Objectif de trempe: empêcher la précipitation du carbone au cours du retour depuis la température d'austénitisation jusqu'à la Température ambiante, et cela dans la plus grande partie possible de la section de la pièce. [15]

2.2.3 Revenu :

Le revenu est un traitement thermique pratique, généralement après trempe, et qui a pour but de corriger les défauts causés par la trempe d'un acier (contraintes internes et fragilités). Le chauffage de l'acier trempé est effectué à une température inférieure à AC1, (selon la résistance exigée), suivi d'un maintien à cette température et au refroidissement jusqu'à la température ambiante

Le revenu est destiné à provoquer un retour plus ou moins marqué vers l'état stable à froid, donc d'obtenir les propriétés mécaniques requises, c'est à dire la martensite se transforme en de nouveaux constituants (sorbite, bainite).

Donc le revenu permet de supprimer les contraintes internes provoquées par la trempe, de diminuer la fragilité des pièces trempées tout en conservant une dureté suffisante. Cette suppression de contraintes et d'autant plus complète que la température du revenu est plus élevée, c'est à dire, l'affaiblissement des contraintes est le plus intense lorsque le maintien atteint 15 à 30 min à 550°C.

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. Un refroidissement rapide dans l'eau à partir de 600°C produit des contraintes thermiques nouvelles.[14]

2.2.3.a) Cycle de revenu :

– Chauffage jusqu''a $TR < AC1$ pour l'acier considéré

– maintien `à la température TR

– refroidissement

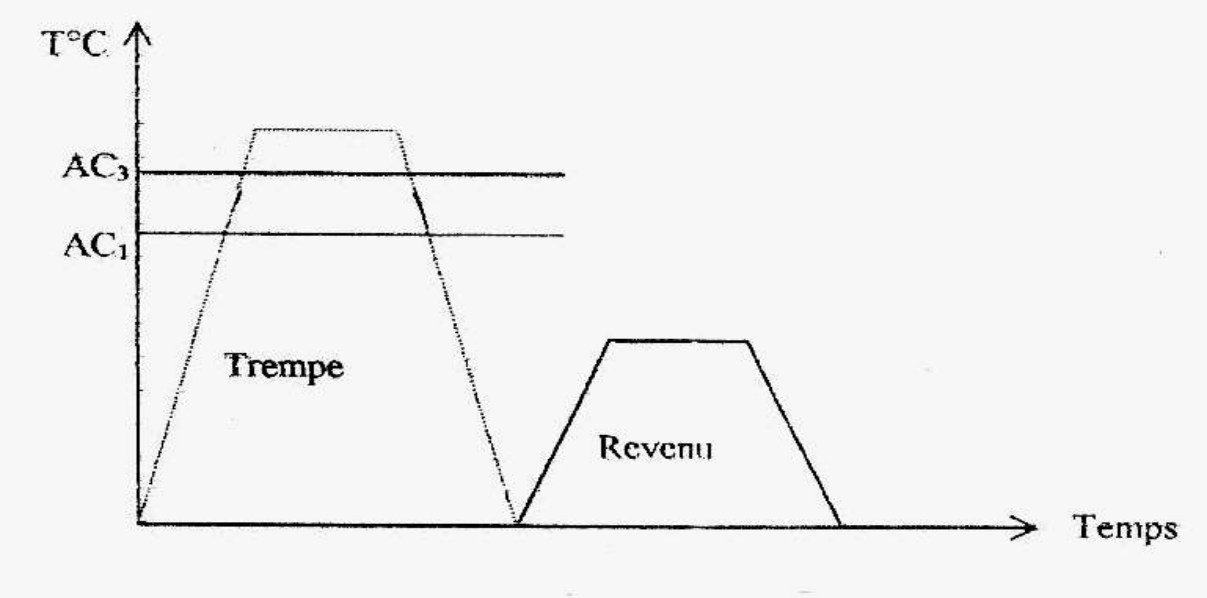


figure.2.4 : cycle de revenu [15]

La température de revenu se situe entre 200 et 500 °C, elle dépend des caractéristiques finales que l'on veut obtenir.

Pour les aciers fortement alliés, la température de revenus est plutôt entre 550 et 650 °C. [14][15]

2.2.3.b) Structure du matériau :

Après la trempe, on obtient un mélange de :

- martensite
- austénite résiduelle (non transformée pendant le revenu)
- bainite (éventuellement)
- carbures

Pendant le revenu :

- la martensite se transforme en ferrite et en carbures
- l'austénite résiduelle se transforme en martensite et en bainite

On obtient un changement de propriétés par changement de structures

2.2.3 .c) Types de revenus :

* Revenu de durcissement (ou durcissement structural) : provoque la précipitation des éléments carburigénes pendant le maintien en température.

* Revenu de détente : favorise la relaxation1 des contraintes dues `a la sursaturation en carbone du fer α. Température : entre 100 et 200 °C

2.2.3.d) Situation :

Règles à respecter :

- les pièces doivent être complètement refroidies avant le début pour être sûr que la transformation martensitique est terminée.
- le revenu suit immédiatement la trempe pour éviter la rupture des pièces qui peut se produire plusieurs heures, voire plusieurs jours après la trempe

***Objectif de revenu*:** Appliqué aux aciers au carbone alliés ou non alliés, après une trempe, le revenu a pour objet de provoquer une précipitation du carbone sous une forme et dans des conditions contrôlées afin de parvenir au durcissement optimal.

Cette opération engendre une évolution structurale depuis l'état métastable obtenu après trempe vers un état plus proche de l'équilibre physico-chimique [15]

2.3 Les transformations de phases à l'état solide des aciers :

2.3.1 La transformation de l'austénite :

Le traitement thermique de l'acier commence lorsqu'il est porté à haute température dans un état complètement ou très largement austénitique. L'austénite possède alors deux caractéristiques intéressantes :

- Composition et l'homogénéité de la composition ;
- La grosseur du grain.

Au refroidissement, l'austénite se transforme en ferrite et carbure. En ajustant les conditions de refroidissement, en particulier la vitesse, il est possible de contrôler la structure microscopique, autrement dit le mode de répartition du carbure dur dans la matrice ferritique douce. L'une des vitesses de refroidissement de l'acier à partir du domaine austénitique est la vitesse de refroidissement des produits laminés ou forgés après la dernière passe à chaud. Ce refroidissement n'est pas techniquement, un traitement thermique. Il s'agit pourtant, d'un point de vue métallurgique, d'un véritable traitement, reproductible pour une section donnée.

La décomposition de l'austénite ne commence pas instantanément lorsque la température atteint celle qui, au bout d'un temps de maintien suffisant, entraîne sa décomposition isotherme. [17]

2.3.2 Transformation perlitique :

Au cours d'un refroidissement lent, à la vitesse de 2 à 3 °C / mn, l'austénite se transforme en ferrite et en carbure lamellaire [16].

A haute température, l'austénite homogène présente une distribution embryonnaire caractéristique. Le franchissement de la température de transformation entraîne une évolution de cette distribution pendant laquelle on n'observe aucune transformation [19], le temps nécessaire pour atteindre ce nouvel état est appelé temps d'incubation.

A température θiso, légèrement au dessous de A1 (pour un acier proche de la composition eutectoïde), l'énergie motrice de la transformation est négligeable est il s'ensuit une faible vitesse de réaction que l'on observe après temps d'incubation important.

A température θ iso, c'est-à-dire vers 500°C, l'énergie motrice de la transformation devient très importante, mais l'abaissement de la température ralentit considérablement, la vitesse de diffusion du carbone qui apparaît

Comme le facteur contrôlant la transformation et expliquant l'importance du temps d'incubation.

Vers 600 °C, l'énergie motrice et la vitesse de diffusion ont des valeurs telles que la formation de la perlite se manifeste après un très court temps d'incubation.

Pour un acier hypoeutectoïdes, la transformation commence par l'apparition de la ferrite aux joints des grains austénitique ; simultanément, l'austénite restante s'enrichit en carbone jusqu'à atteindre la composition eutectoïde.

La perlite apparaît sous forme de colonies ou l'agrégat ferrite –cémentite progresse, sans relation d'orientation cristallographique avec le grain d'austénite mère [20].

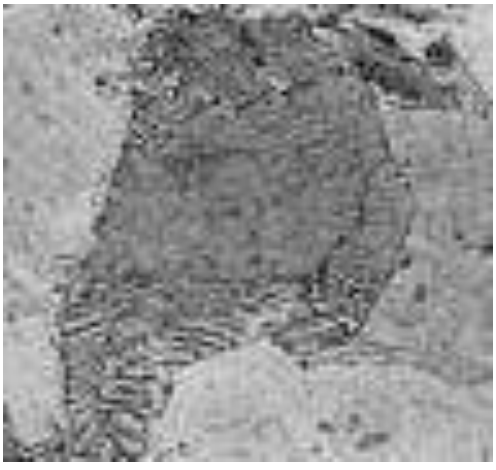


Figure 2.5 : Début de la transformation perlitique d'un acier eutectoïde, la croissance lamellaire à partir des germes et la formation simultanée de ferrite et de carbure [21].



Figure 2.6 : transformation perlitique après la décomposition complète [21].

2.3.3 Transformation martensitique :

2.3.3.a) La martensite α' (M) :

Cette phase cristallise dans le système quadratique. On peut la considérer comme une solution solide de carbone dans le réseau distordu de la ferrite. Cette distorsion est la caractéristique d'un acier refroidi rapidement depuis la température de l'austénitisation, et elle coexiste souvent avec la bainite et la troostite.

La martensite possède une grande dureté (HV = 700 à 900), mais présente l'inconvénient d'être très fragile. Elle est ferromagnétique comme la ferrite. (Figure 2.7)

La martensite peut se présenter sous différentes morphologies : massive ou aciculaire. Cette dernière forme est de loin la plus répandue dans le cas des aciers faiblement alliés. [10]

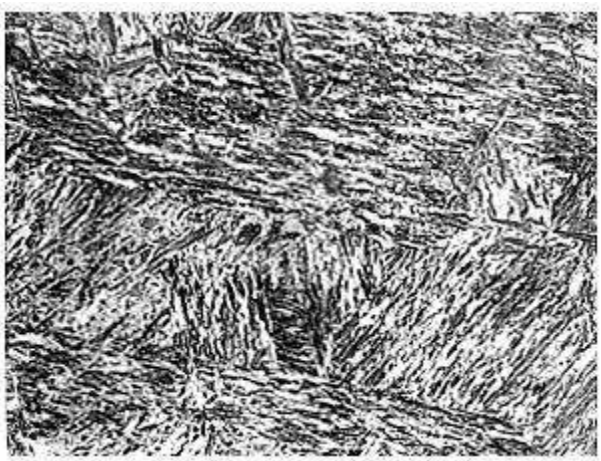


Figure 2.7: structure martensitique d'acier à 0,32 % C - 4,12 % Ni - 1,37 % C
traitement : 850° C (30 min) – eau Attaque Nital (3 %) Grossissement : 900 [22]

2.3.3.b) La transformation martensitique :

Est une transformation sans diffusion. (Par glissement) Du point de vue de la cinétique, la martensite apparaît des que l'on atteint, par un refroidissement rapides, une certaine température dite de début de la transformation martensitique (Ms), mais elle ne se poursuit pas en condition isotherme.

Du point de vue structural, la transformation martensitique correspond à un basculement coopératif des atomes qui participent à la formation d'une plaquette de martensite. La martensite a une structure proche celle de la ferrite. [22]

2.3.4 Transformation intermédiaire (bainitique) :

2.3.4.a) Bainite :

Mélange de fines plaquettes de carbures Fe3C et ε (Fe2 ; 4 C) dans une matrice de ferrite. Accompagne souvent la martensite dans les aciers trempés .moins dur, mais moins fragile que la martensite. [4]

2.3.4.b) la transformation bainitique :

La transformation perlitique est contrôlée par un mécanisme de diffusion, alors que la transformation martensitique procède par cisaillement et en absence de diffusion.

La transformation bainitique est intermédiaire entre les deux précédentes, puisque le mécanisme mis en jeu est mixte : on observe simultanément un phénomène de cisaillement de l'austénite en ferrite, et une diffusion à courte distance du carbone.

La bainite qui apparaît à haute température, dite bainite supérieure, présente la forme de lattes, les aiguilles de ferrite bainitique étant séparées par de petites plaquâtes de cémentite. Aux températures plus basses, le carbone dont la vitesse de diffusion est de plus faible, précipite sous forme de très fins carbures de type cémentite ou epsilon (Fe2 ; 4 C) à l'inférieur même des aiguilles de ferrite bainitique.

Ceux –ci plus petits sont allongés selon des directions faisant un angle de l'ordre de 60° C avec l'axe des lattes de ferrite [23.24] on parle alors de bainite inférieure. (Figure 2.8)

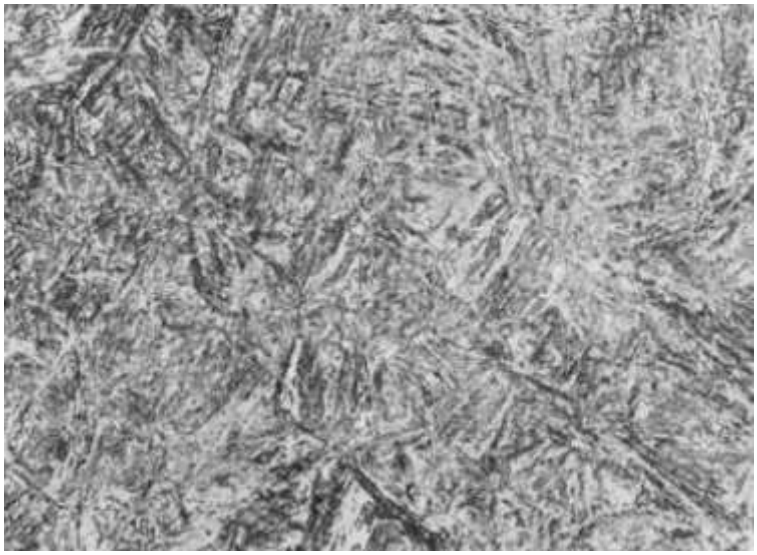


Figure2.8 : Structure bainitique (bainite inférieure)
(Acier à 0,35 % C - 4,1 % Ni - 1,6 % Cr - 0,4 % Mo)
Traitement : 850 °C (30 min) -refroidissement interrompu à 300 °C (16 h)
Attaque Nital (3 %) Grossissement : 900

2.4. Les courbes TTT et TRC d'acier faiblement allié :

2.4.1 Le diagramme TTT (Temps Température Transformation) :

Le diagramme TTT indique les transformations isothermes (à température constante), d'un matériau, suite à un refroidissement ultrarapide à partir d'une température d'austénitisation jusqu'à la température d'intérêt. Voir (Fig. 2.9)

Sur chaque ligne isotherme on marque les temps de début et de fin des différentes transformations.

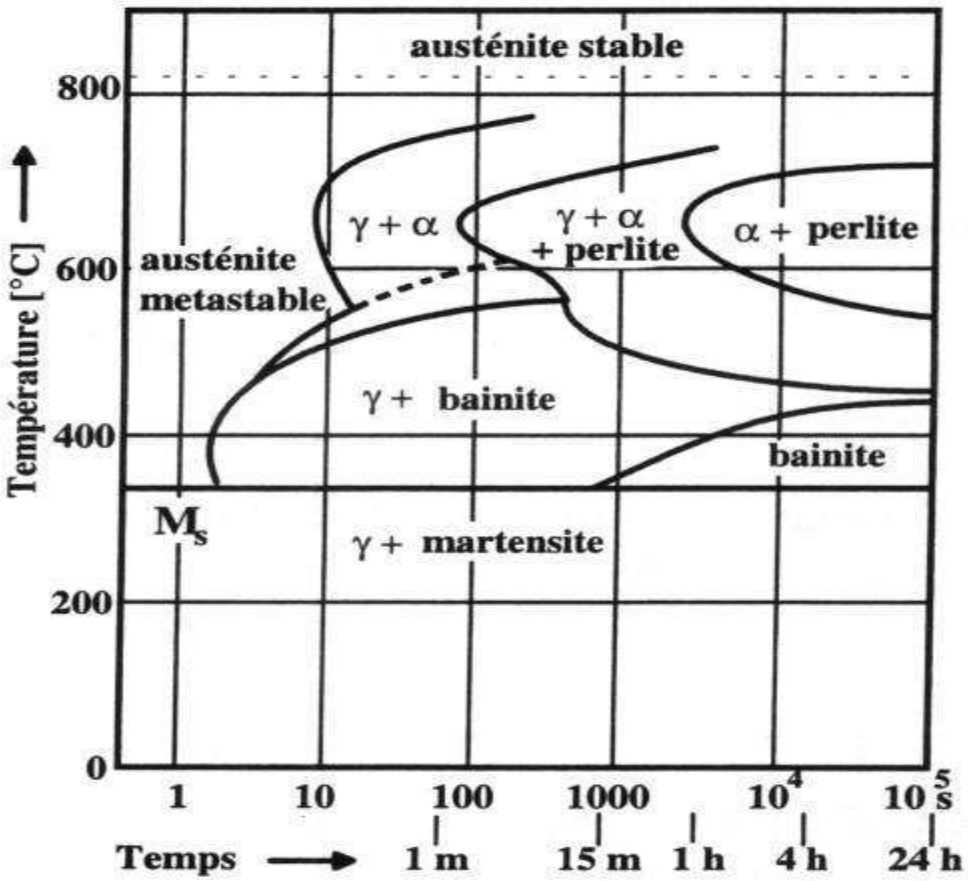


Figure 2.9 : Courbe TTT (acier faiblement allié 0,35 % C) : Ce diagramme se lit en suivant Une isotherme. [25]

2.3.2 Diagramme TRC :

Les courbes TRC représentent les résultats de la transformation de l'austénite en refroidissement continu. Sur un diagramme TRC, les différentes zones définissent la transformation obtenue de l'austénite. Ces zones sont atteintes en fonction de la vitesse de refroidissement du matériau. En abscisse on trouve une échelle logarithmique du temps en secondes. En ordonnée la température en degrés Celsius. Les différents traits caractérisent les vitesses de refroidissement que l'on doit utiliser en fonction de la dureté à obtenir. La dureté obtenue est définie au dessus de l'axe des abscisses. [26]

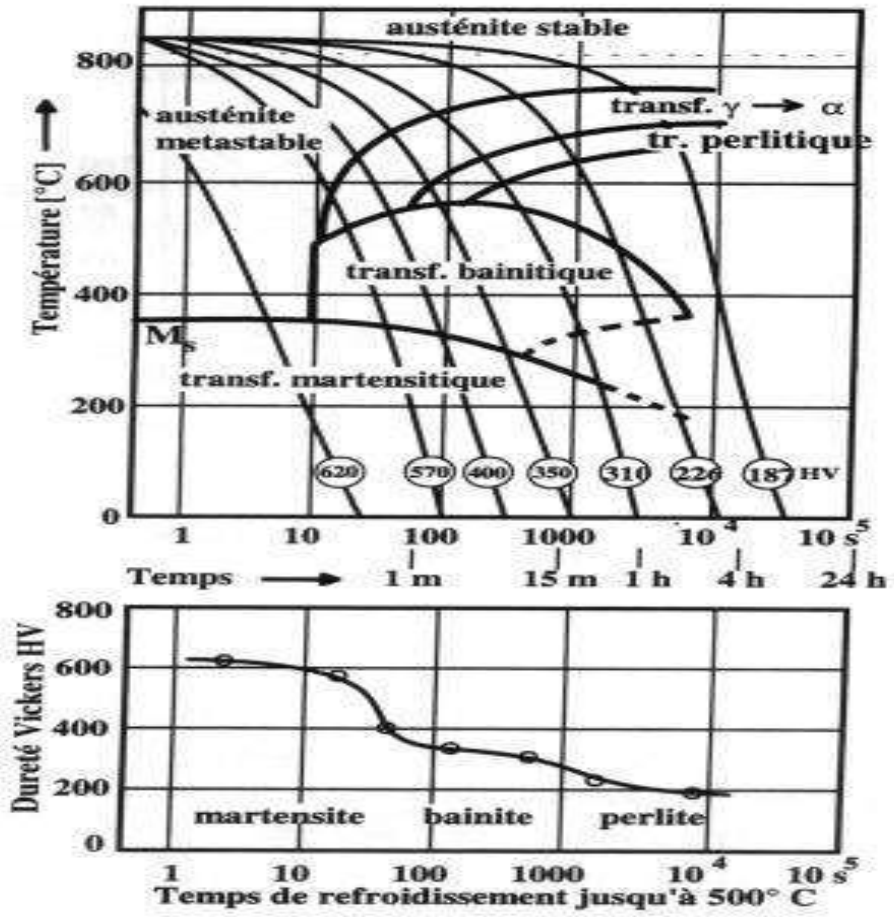


Figure 2.10 : Courbe TRC et dureté après trempe. Le diagramme TRC se lit en suivant les courbes de refroidissement [25]

2.4.3 Le diagramme TTT d'acier 100cr6 :

Dans le principe (et si tout se passe bien), on obtient la dureté maximale lors de la trempe, le revenu permet d'ajuster cette dureté en rapport à l'utilisation finale.

La courbe indique la diminution de la dureté, par rapport à l'augmentation de la température de revenu.

- Si tu fais un revenu à 150°c, tu auras normalement une dureté de 62 HRC
- Si tu fais un revenu à 300°c, tu auras normalement une dureté de 56 HRC

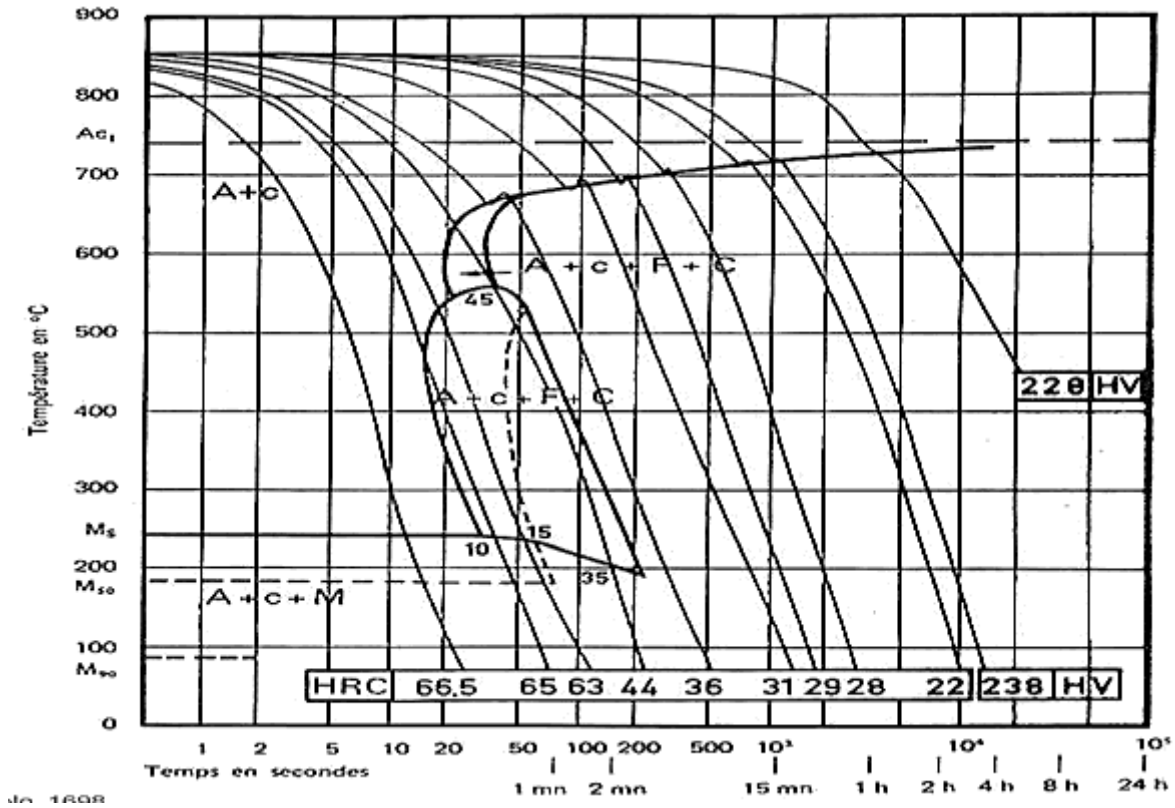


Figure 2.11 : Diagramme TTT d'acier 100c6 [27]

Explication de diagramme traitement thermique

Les courbes de 800 à 0 c'est les différentes vitesses de refroidissement.

Les deux courbes épaisses, c'est

- En haut, marqué F+C = Ferrite plus carbure libre. Quand on passe dans cette région, on ne produit pas de martensite mais F +C. Il manque la marque P = Perlite, mais c'est la même région. C'est celle qu'on appelle aussi "nez perlitique".
- En bas, marqué B = Bainite. Quand on passe dans cette région, on ne produit pas de martensite mais du bainite.

La ligne Ms, c'est Martensite Start. A cette température, la transformation de l'austénite en martensite commence.

Il y a aussi une ligne Mf = Martensite fin, mais elle n'est pas sur ce diagramme parce que pour le 100C6 elle se trouve plus bas que 0° C, dans la rangée de -100° C.

A + C = Austénite plus carbure libre. [27]

3.1 Matériau étudié :

100Cr6 (100C6)

W.NR.: 1.3505

Acier faiblement allié pour roulements à billes

3.1.1 Composition chimique AFNOR 100C6 :

Tableau 3.1 : représente les compositions chimiques d'un acier 100C6 [20]

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %
DE	0,93	0,15	0,25	-	-	1,35	-
A	1,05	0,35	0,45	0,025	0,015	1,60	0,10

Dans les cas où l'usinabilité est de première importance, une teneur maximale de soufre S=0,030% peut être établie

3.1.2 PROPRIETES :

- **Résistance à la déformation et à l'usure:**

Cette nuance est destinée généralement aux applications qui exigent une haute résistance aux déformations et à l'usure sous charges alternées élevées. Donc ces principaux composants doivent avoir une haute dureté, limite d'élasticité et résistance à la fatigue.

- **Aptitude à la trempe:**

Bonne aptitude à la trempe; la trempe doit permettre le refroidissement en huile pour réduire au minimum le risque de ruptures ou distorsions dues à la trempe et pour minimiser les opérations de rectification successives.

- **Domaines d'application :**

- Poinçons, tiges de guidage, forets, alésoirs, éjecteurs, fraises de dentiste.

Roulements de tous types

- **Traitement thermique :**

- Température de trempe : 825-875 C
- Milieu de la trempe : huile [28]

3.2 Caractérisation mécaniques:

3.2.1 Essai de traction :

L'essai consiste à soumettre une éprouvette à un effort de traction et cela généralement jusqu'à rupture en vue de déterminer une ou plusieurs caractéristiques mécaniques.

On impose en général une déformation croissante à une éprouvette sur la quelle on trace deux repères initialement distincts de $\mathbf{L_0}$, et on mesure simultanément l'effort **F** et l'allongement : $\Delta \mathbf{L = L - L_0}$.

- Limite apparente d'élasticité : Re = Fe /So
- La résistance à la traction : Rm = Fm/So
- L'allongement : A = 100*($\mathbf{L - L_0}$)/ $\mathbf{L_0}$ **[21]**

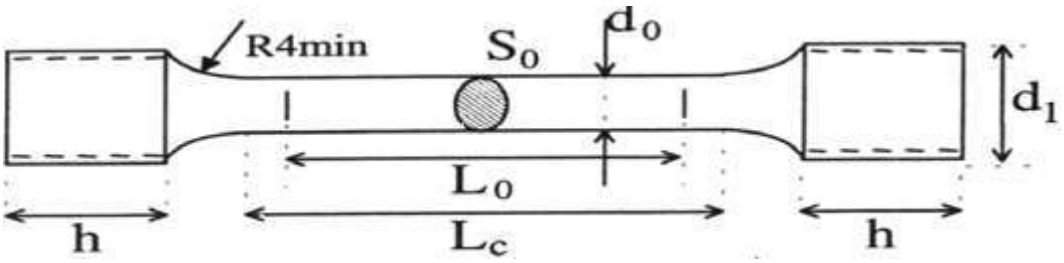


Figure 3.1 : exemple d'une éprouvette de traction.

D1 : 16 mm.	**H : 25 mm.**	**Lc : 100 mm.**
D0 : 10 mm.	**L0 : 50 mm.**	**S0 : 78.5 mm2.**



Figure 3.2 : matériaux utilisée 100C6



Figure 3.3 : préparation des éprouvettes de traction



Figure 3.4 : éprouvette de traction utilisée.

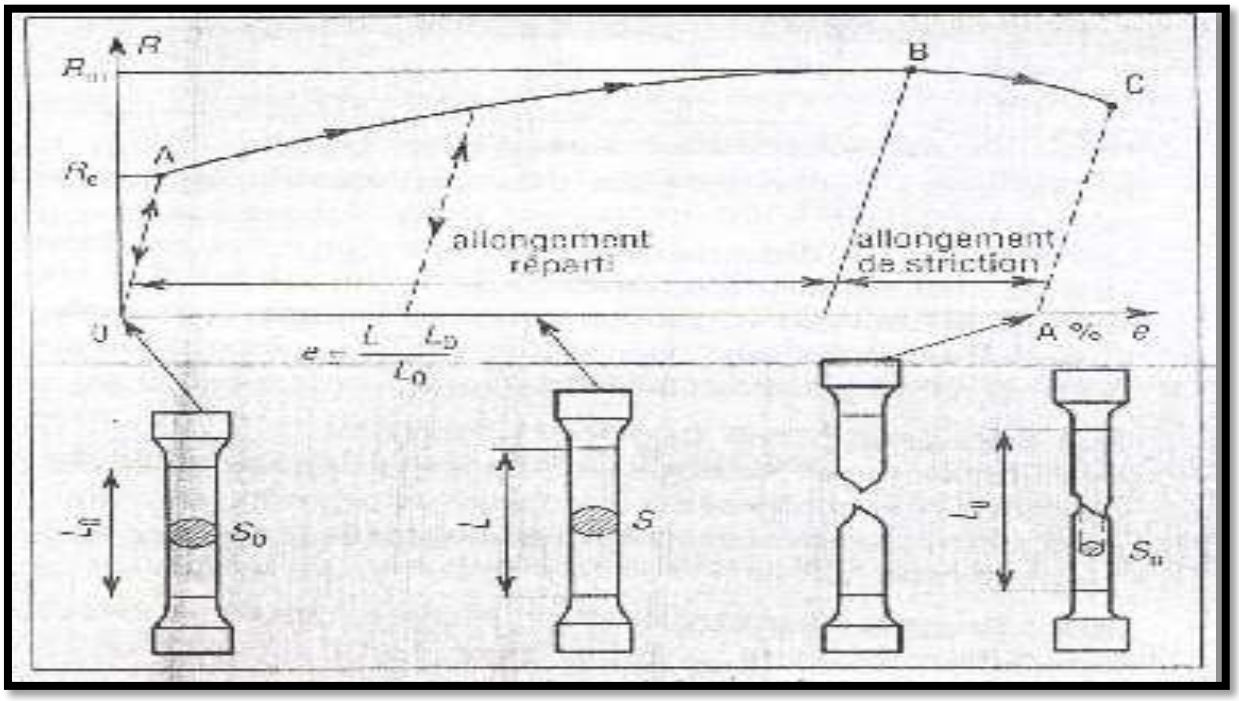


Figure 3.5 : représente l'essai de la traction d'une éprouvette



Figure 3.6 : la machine de traction.

3.2.2 Essai de dureté : Rockwell

Les essais de dureté Rockwell sont des essais de pénétration. Il existe en fait plusieurs types de pénétrateurs qui sont constitués d'un cône en diamant ou d'une bille en acier trempé polie. Pour obtenir une valeur de dureté Rockwell, on mesure une pénétration rémanente du pénétrateur sur lequel on applique une faible charge.



Figure 3.7 : rondelle d'acier utilisée



Figure 3.8 : l'empreinte d'essai de dureté : Rockwell



Figure 3.9 : Machine de dureté universelle Brinell, Vickers et Rockwell de l'UGB

3.3 Méthodes expérimentales utilisées:

3.3.1 Traitements thermiques :

Dans ce travail on à utilisé plusieurs traitements thermiques d'un acier 100C6.

Le milieux du trempe d'un acier 100C6 est huile avec le revenu à 300°C.

- Austénitisation pendant à (T= 800 °C, T= 850 °C et T= 900 °C) avec temps de maintien 30minute.

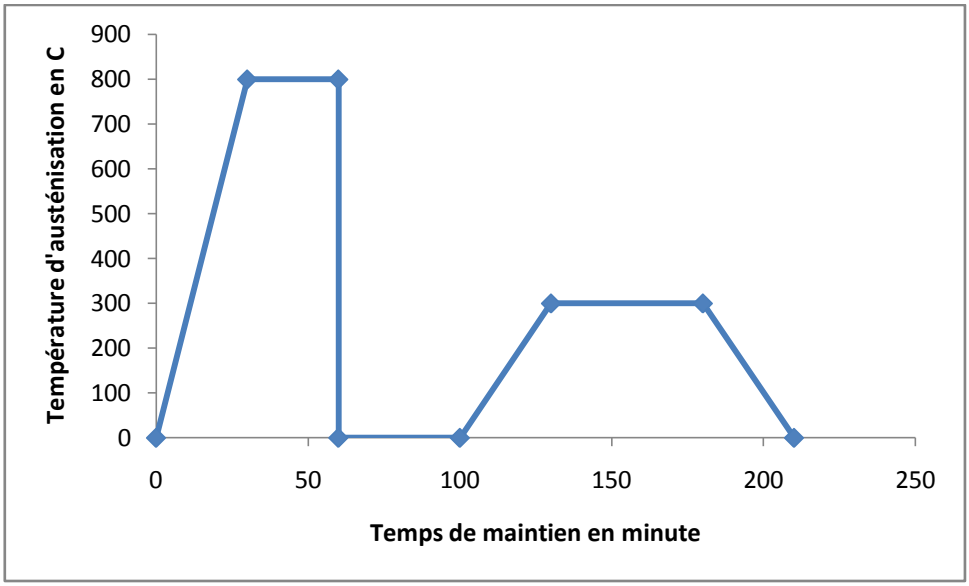


Figure 3.10: cycle de traitement thermique à température d'austénisation 800°C avec temps de maintien 30 min

etat initiale …….etat finale

perlite+cementite martensite+fe3c+peu de austenite residielle

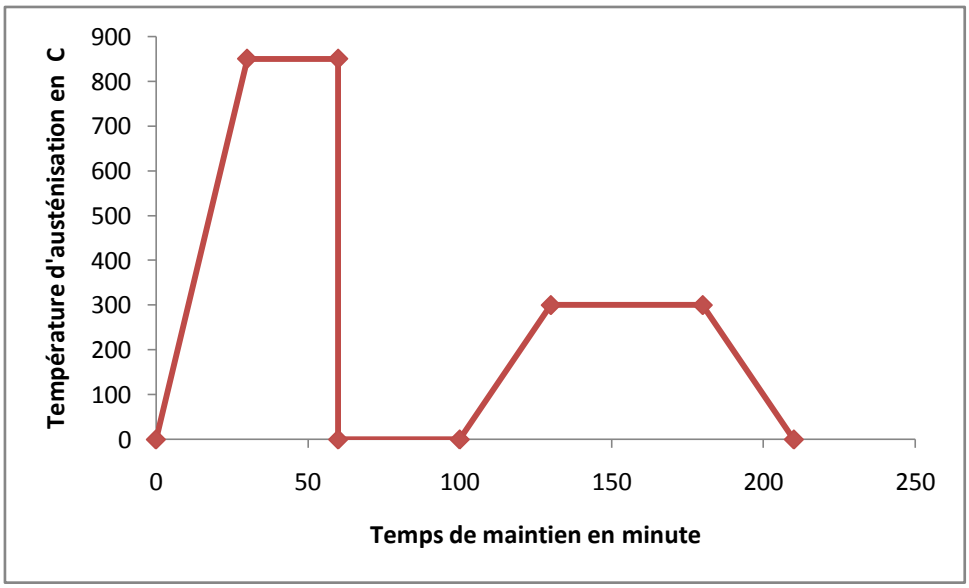


Figure 3.11: cycle de traitement thermique à température d'austénisation 850°C avec temps de maintien 30 min.

etat initiale……..etat finale

perlite+cemantite martensite+austénite residielle

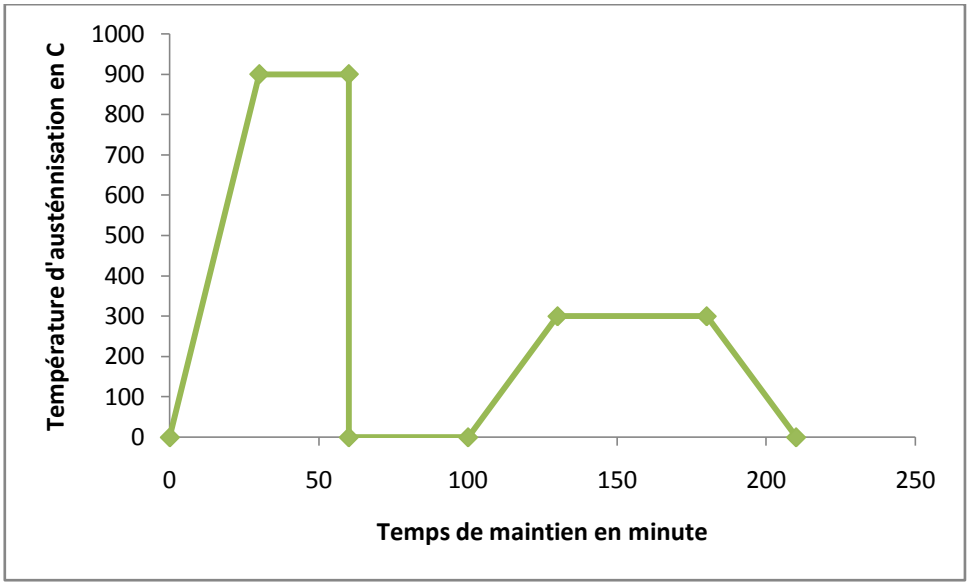


Figure 3.12 : cycle de traitement thermique à température d'austénisation 900°C avec temps de maintien 30 min.

etat initiale……etat finale

perlite+cementite martensite+austenite residielle

- Austénitisation à température T= 850 °C du temps du maintien (20 min, 50 min ,1heur et 10 min)

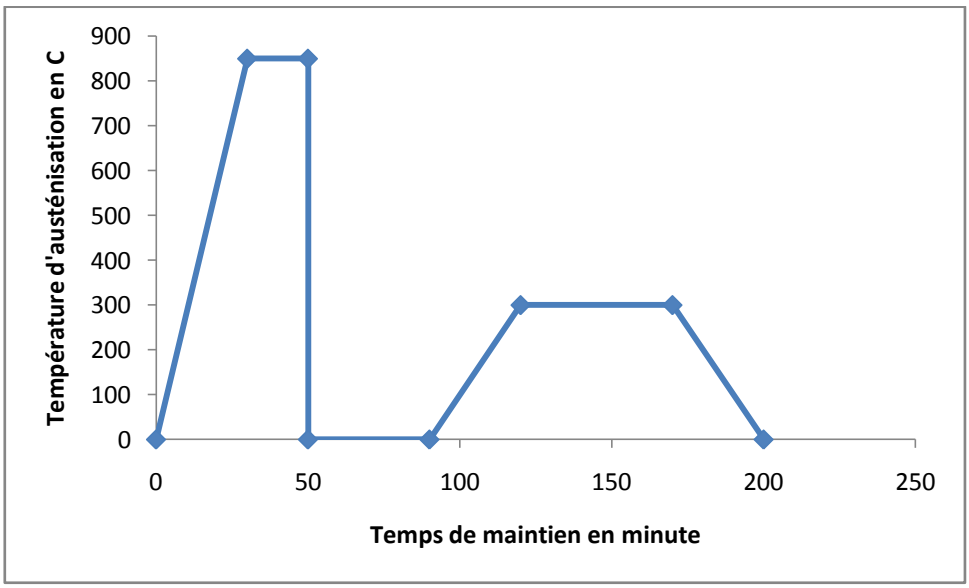


Figure 3.13: cycle de traitement thermique à température d'austénisation 850°C avec temps de maintien 20 min.

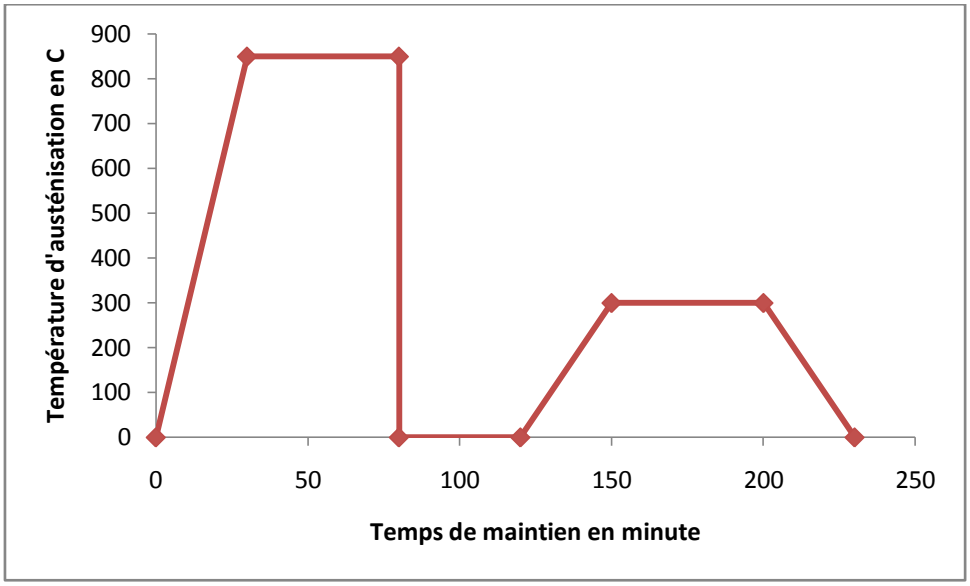


Figure 3.14: cycle de traitement thermique à température d'austénisation 850°C avec temps de maintien 50 min.

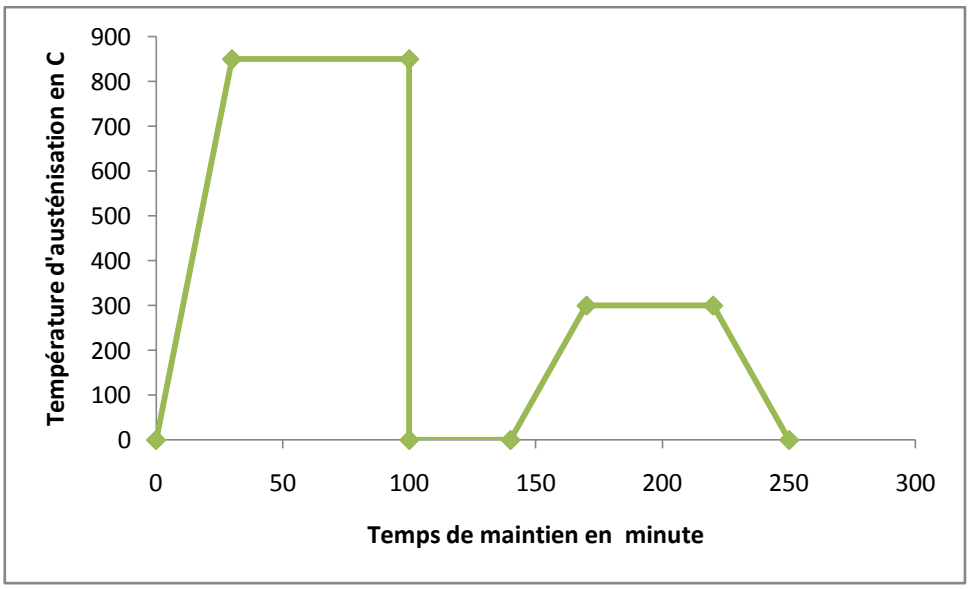


Figure 3.15: cycle de traitement thermique à température d'austénisation 850°C avec temps de maintien 70 min.

- Trempe étagée : Austénitisation à température T= 900 °C du temps de maintien 30min Et refroidissement dans le four à T= 800 °C du temps de maintien (30min, 50 min, 1heur et 10 min).

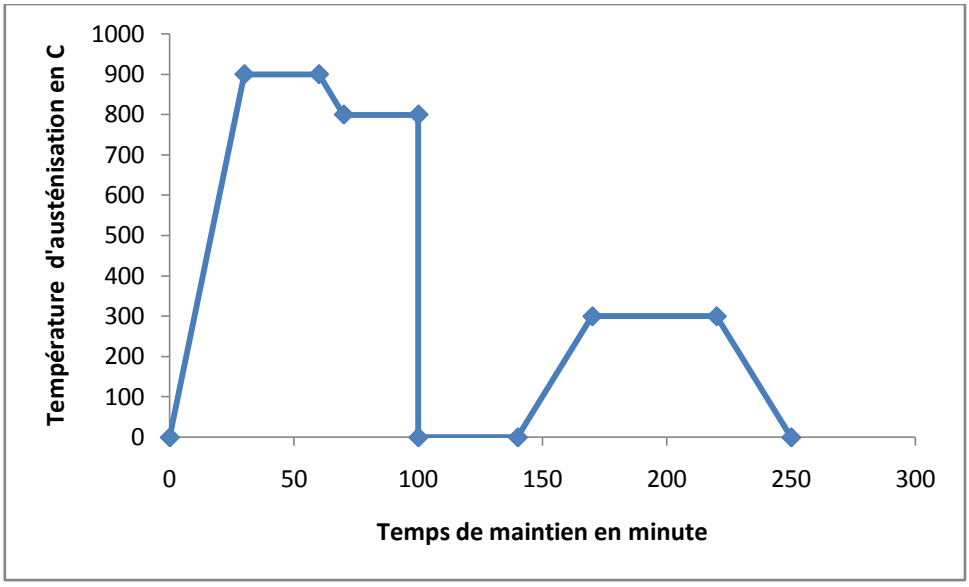


Figure 3.16: cycle de traitement thermique de la trempe étagée avec temps de maintien 30min

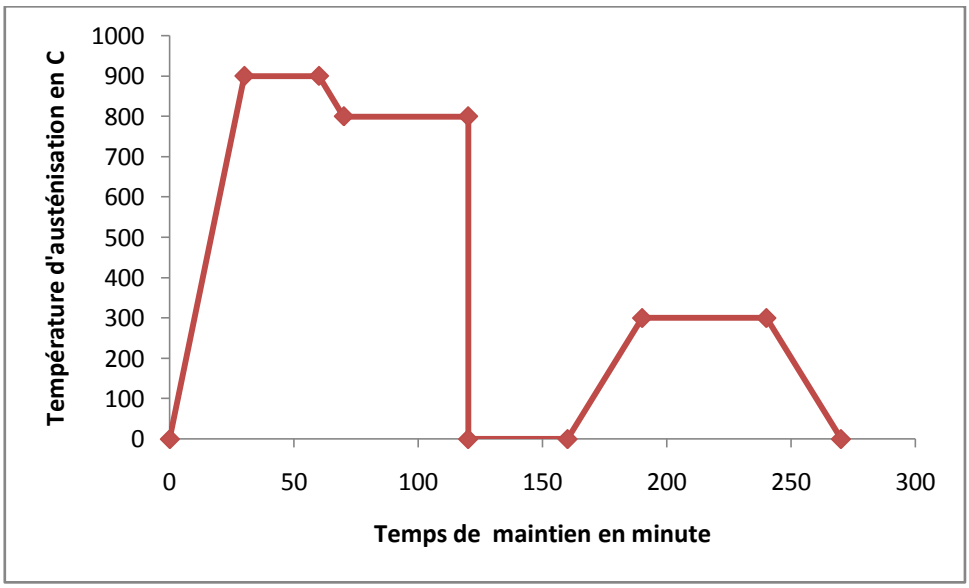


Figure 3.17: cycle de traitement thermique de la trempe étagée avec temps de maintien 50min.

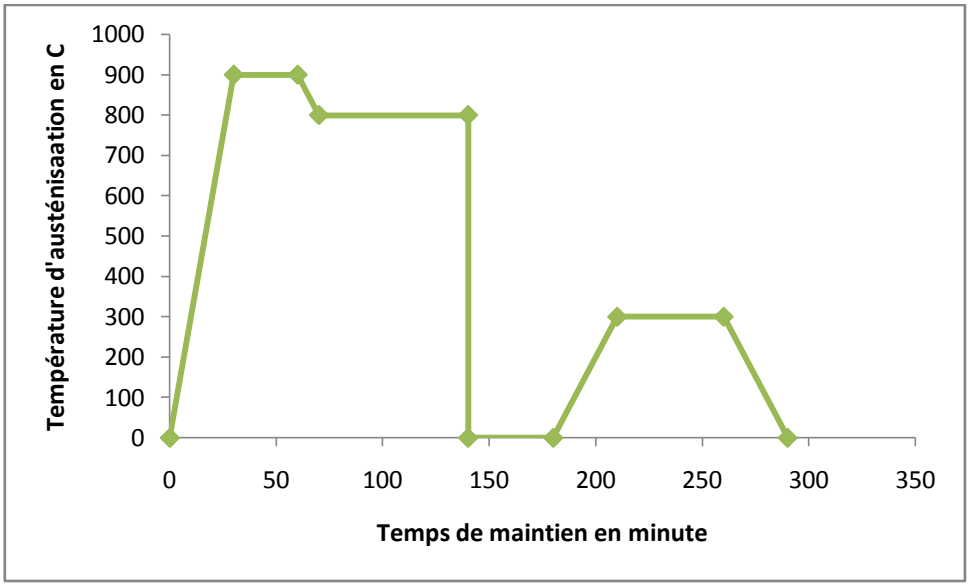


Figure 3.18: cycle de traitement thermique de la trempe étagée avec temps de maintien 70min.

Pour ces traitements thermiques ; on utilisé un four électrique à température maximale T_{max} =1400



Figure 3.19 : four électrique

3.3.2 Etude métallographique :

L'étude métallographique est un moyen de contrôler essentiellement la structure micrographique des matériaux métalliques. Toute étude de matériaux métalliques passe presque toujours par l'étude des constituants micrographiques. Ce sont eux qui donnent aux métaux leurs différentes caractéristiques mécaniques.

Toutes les étapes de la vie d'un matériau sont concernées par leur mise au point, leur utilisation et leur détérioration par usure.

3.3.2.a) Préparation des échantillons :

La préparation des échantillons pour l'observation micrographique nécessite un polissage mécanique. Celui-ci consiste en une série de polissage au papier émeri de granulométrie de plus en plus fine pour terminer avec un tissu recouvert de pâte diamantée (à chaque fois suivis de nettoyage à l'eau à la fin de chaque étape de polissage pour enlever les plus grosses particules qui pourraient griffer la surface). Tous les échantillons expérimentés sont attaqués au nital à 4%.

- **l'enrobage à froid :**

On fait l'enrobage pour faciliter le polissage des échantillons et pour assurer seulement le contact de surface de métal avec la solution dans le cas des électrodes de corrosion, et pour cela on utilise une résine avec un durcisseur.

- **le polissage :**

L'étude de la microstructure nécessite des surfaces bien polies, de façon à ce qu'elles ne présentent aucune rayure susceptible de gêner l'examen micrographique. Pour cela ; les échantillons sont polis mécaniquement sur papiers abrasifs (du numéro 120, 320, 400, 600, 800, 1000,1800) ; puis à la pâte diamantée de granulométrie 0.5µm et la pate d'alumine.



Figure 3.20 : la machine de polissage à l'alumine



Figure 3.21 : représente la finition à la pate d'alumine



Figure 3.22 : représente la finition à la pate diamantée

- **l'attaque chimique :**

L'attaque chimique se fait à l'aide de réactif qui permet de différencier les différents phases de métal, et de révélé les joins des grains, cette méthode consiste à trempé la face à attaquer dans le réactif choisi pendant un temps convenable.

Pour notre examen nous avons effectué l'attaque suivant :

- Une attaque avec le réactif de Nital (4%) dont la composition chimique est ;

4ml d'acide nitrique

100ml d'éthanol

- Durée d'attaque : environ 60 secondes.



Figure 3.23 : représente l'attaque chimique avec le nital

3.3.3 Microscopie optique (MO) :

Le microscope optique nous a permis de suivre l'évolution de la microstructure des échantillons durant les différents traitements thermiques. Pour notre étude, on a utilisé une microscopie optique de type Hund

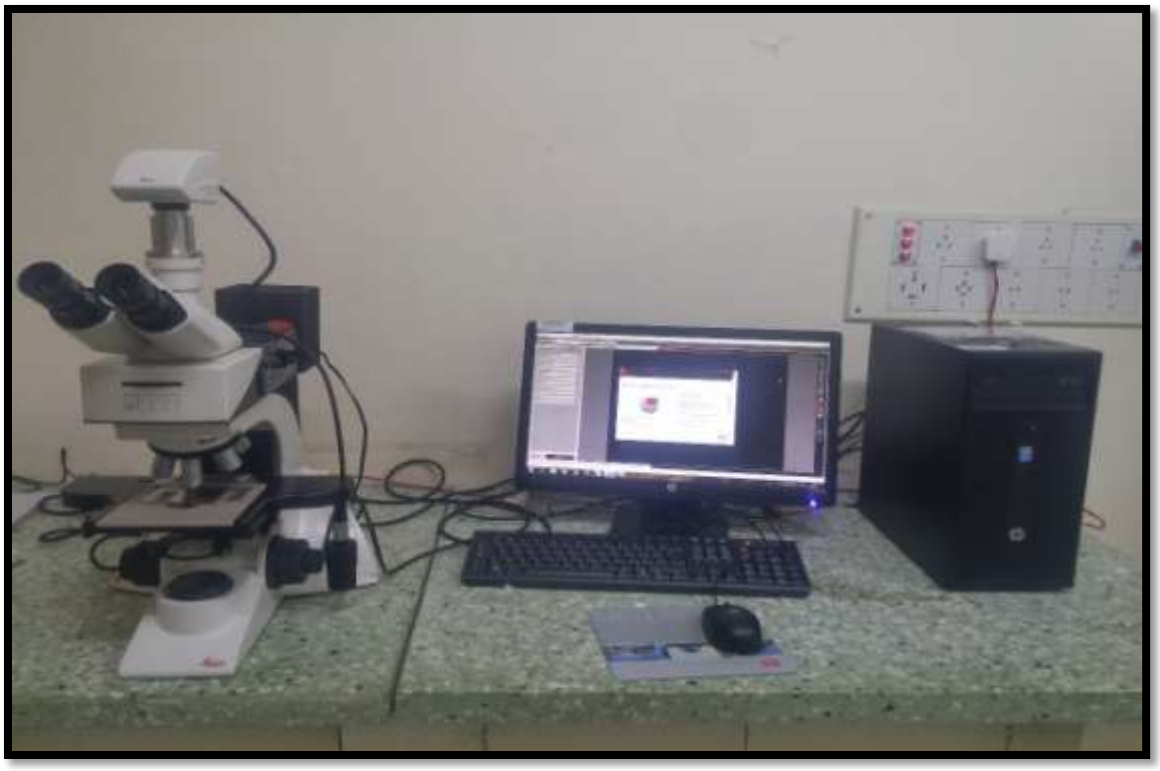


Figure 3.24 : Microscopie optique de type Hund

4.1Introduction :

Dans ce travail nous présenterons des résultats concernant l'influence des conditions de Différent traitements thermiques (température d'austenisation et temps du maintien) sur les propriétés microstructurales et mécaniques de l'acier 100C6

Dans cette partie d'étude, on expose en premier lieu les résultats obtenus sur l'acier avant le traitement thermique et puis les résultats après traitements thermiques pour tout les analyses (mécanique : traction, dureté ; et Métallographie).

4.2 Résultats et interprétations :

4.2.1 Les résultats mécaniques (dureté et traction) :

4.2.1.a Les résultats mécaniques des traitements thermiques 1 :

Le tableau suivant montre les valeurs obtenues pour les tests de dureté et traction avant et après le traitement thermique de la différente température d'austénisation et temps de maintien, le milieu de trempe en huile et revenu en 300°C

Tableau 4.1 : représente les résultats de dureté et traction d'un acier 100C6 avant et après les traitements thermiques

Les échantillons	Température d'austenisation (°C)	Temps de maintien (minute)	Dureté en HRC	Resistance élastique (daN)	Resistance maximal (daN)
Avant le traitement th			**16**	**32**	**43.5**
1	**800**	**30**	**53**		
2	**850**	**30**	**53**	**18**	**32**
3	**900**	**30**	**52**		
4	**850**	**20**	**54**		
5	**850**	**50**	**55**		
6	**850**	**70**	**53**	**16**	**32**

16

Interprétation :

- Une durtè HRC=16 montre que lacier ces à lètat recuit.

- 1ére échantillon représenté acier 100C6 avant le traitement thermique ou l'acier à l'état recuit
- Les échantillons (1.2.3) représenté acier 100C6 pendant à température d'austenisation (800 °C ,850°C ,900°C) du temps de maintien 30 min et trempe dans huile.
- Les échantillons (4.5.6) représenté acier 100C6 pendant à température d'austenisation 850 °C du temps de maintien (20min, 50 min ,70min) et trempe dans huile
- Pour trouvée les résultats suivant on à appliquée le revenu pendant 300 °C.

On Remarque sur le tableau 4.1:

- La dureté est augmente après les traitements thermiques.
- La Resistance mécanique est diminue après les traitements thermiques.

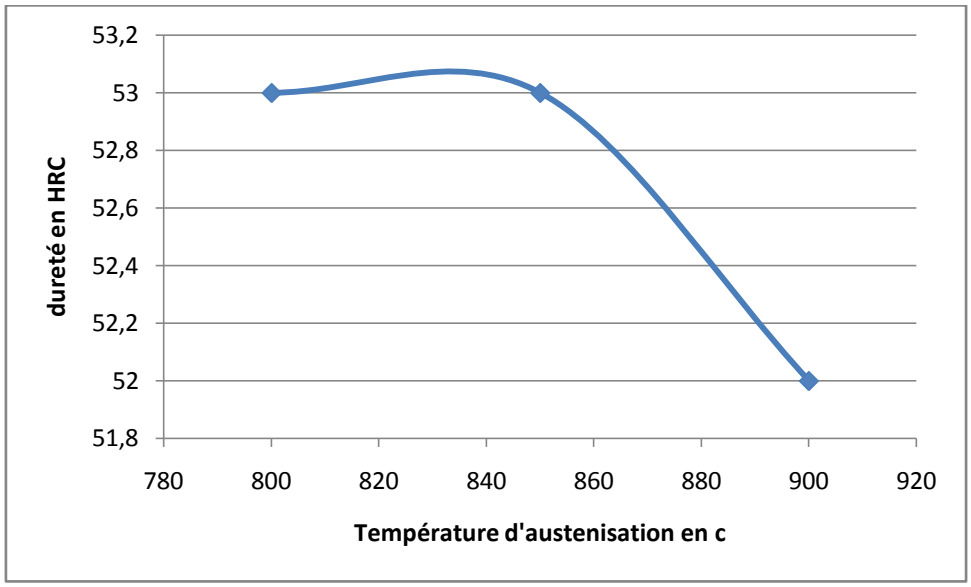


Figure4.1 : courbe de dureté en fonction de température d'austénisation, avec un temps de maintien 30 min pour acier 100C6.

Figure 4.1 représenté la courbe l'évolution de caractérisation de dureté d'un acier 100C6 en fonction de température d'austénisation (800 °C ,850°C ,900°C) avec un temps de maintien de 30 min et trempé dans huile suit un revenu jusqu'à la température de 300 °C

On à observe dans cette figure que la courbe soit stable dans une intervalle de température d'austénisation entre (800 à 850°C) de valeur de dureté 53HRC, en revanche une petite diminution de dureté de 52 HRC pour une température d'austénisation de 900°C parce que le point ms décaié vers le bas donc le taux de l'austénite résiduelle augmente donc la dureté diminue avec l'augmentation de température dausténisation et l'augmentation de dissolution de carbone

Bonne dureté dans ce traitement thermique 53HRC de température d'austénisation (800°C et 850°C) du temps de maintien 30 minute.

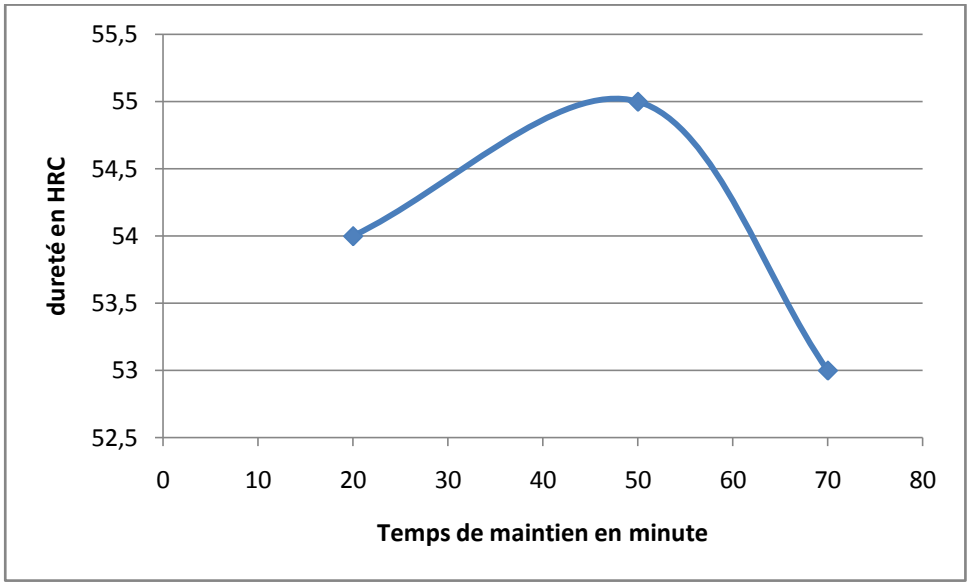


Figure 4.2 : courbe dureté en fonction du temps de maintien, température d'austénisation 850°C d'acier 100C6 des échantillons (4, 5,6)

Figure 4.2 représenté acier 100C6 pendant à température d'austenisation 850 °C du temps de maintien (20min, 50 min ,70min) et trempe dans huile et revenu à 300 °C

On à remarque dans la figure 4.2 le courbe augmenté a dureté de 54HRC à 55HRC entre temps de maintien 20minute à 50minute et après on a vue diminution de valeur dureté de 55HRC à 53HRC du temps de maintien entre 50 minute à 70 minute.

Bonne dureté dans cette traitement thermique et 54HRC de température d'austénisation 850°C et temps de maintien 50 minute

Le temps de maintien augmante la grosseur de grain augmante donc la durté diminue.

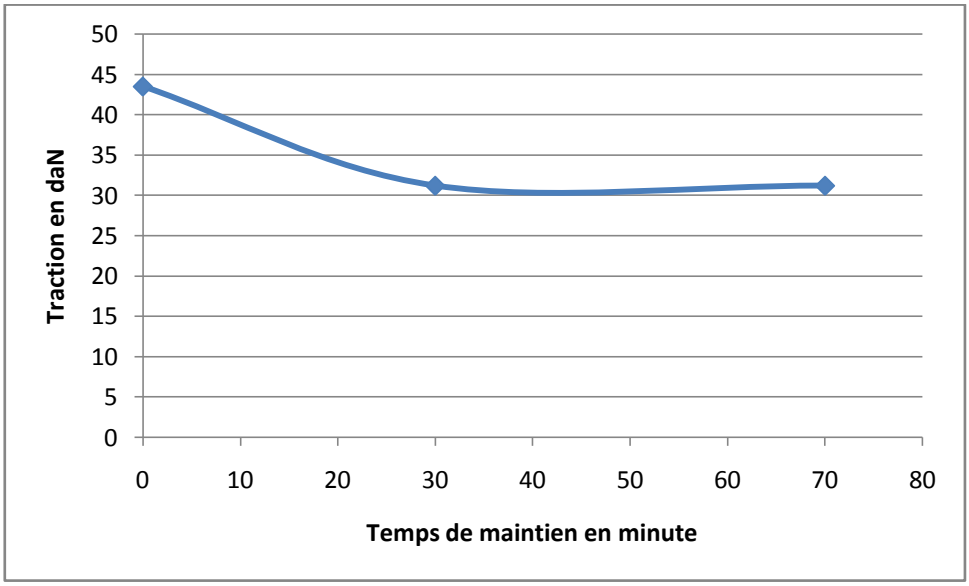


Figure 4.3 : courbe de traction en fonction du temps de maintien d'un acier 100C6 (Échantillon avant le traitement + 2 échantillon à T= 850 °C et temps de maintien 30min et 50 min).

Figure 4.3 courbe de traction en fonction du temps de maintien d'un acier 100C6 (Échantillon avant le traitement thermique + 2 échantillon à T= 850 °C et temps de maintien 30min et 50 min) et trempe dans huile et revenu à 300 °C

On a remarque dans la figure 4.3 la résistance mécanique est diminue après le traitement thermique par apport avant le traitement thermique, après le traitement on a vue stabilité de résistance mécanique de temps de maintien 20min et 50 min de la température d'austénisation Pendant à 850°C

Bonne résistance mécanique après traitement thermique est 31.19daN de temps de maintien (30min ou 70 min) et température d'austénisation 850 °C

4.2.1.b Les résultats mécaniques de traitement thermique à trempe étagé :

Le tableau suivant montre les valeurs obtenues pour les tests de dureté et traction après le traitement thermique de trempe étagé de température d'austénisation 900 °C de temps de maintien (1) 30min et refroidi dans le four à température 800 °C du temps de maintien (2) à 30min et 50min et 70 min avec le revenu pendant à 300 °C

Tableau 4.2 : représente les résultats de dureté et traction d'un acier 100C6 après trempe étagé de température 900°C à 800°C de temps de maintien(1) est 30 min avec revenu à 300 °C

Les échantillons	Temps de maintien (2) en (minute)	Dureté en HRC	Resistance élastique (daN)	Resistance maximal (daN)
5	**30**	**59**	**16**	**31.19**
6	**50**	**58**	**12.73**	**23**
7	**70**	**56**	**16**	**31.19**

Remarques sur le tableau :

- La dureté et augmente après le trempe étagé par apport le traitement thermique (1) parce que il ya dégagement de cémentite
- La dureté de trempe étagé à diminue pour augmente le temps de maintien(2)
- La Resistance mécanique diminue par apport avant le traitement thermique
- La Resistance mécanique presque stable après trempe étagé pour augmente le temps de maintien (2)

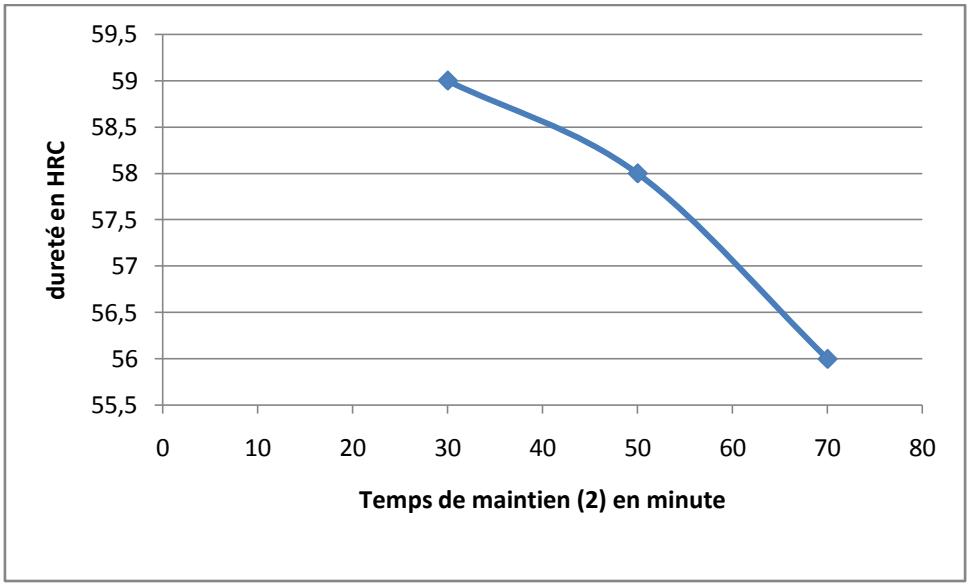


Figure 4.4 : courbe de dureté en fonction du temps de maintien d'un acier 100C6 après trempe étagé de température 900°C à 800°C de temps de maintien(1) est 30 min avec revenu à 300 °C.

Figure 4.3 courbe de dureté en fonction du temps de maintien d'un acier 100C6 après trempe étagé de température 900°C à 800°C de temps de maintien(1) est 30 min avec revenu à 300 °C.

On a remarque dans la figure 4.3 la dureté est diminue après traitement thermique de trempe étagé de 59HRC à 56HRC pour temps de maintien (2) de 20min à 70 min.

La dureté et augmente après le trempe étagé par apport avant le traitement thermique.

La meilleure dureté après traitement thermique de trempe étagé est 59HRC du temps de maintien(2) 30min.

Avec l'augmentation du temps de maintien il ya globalisation de fe3c dégagé

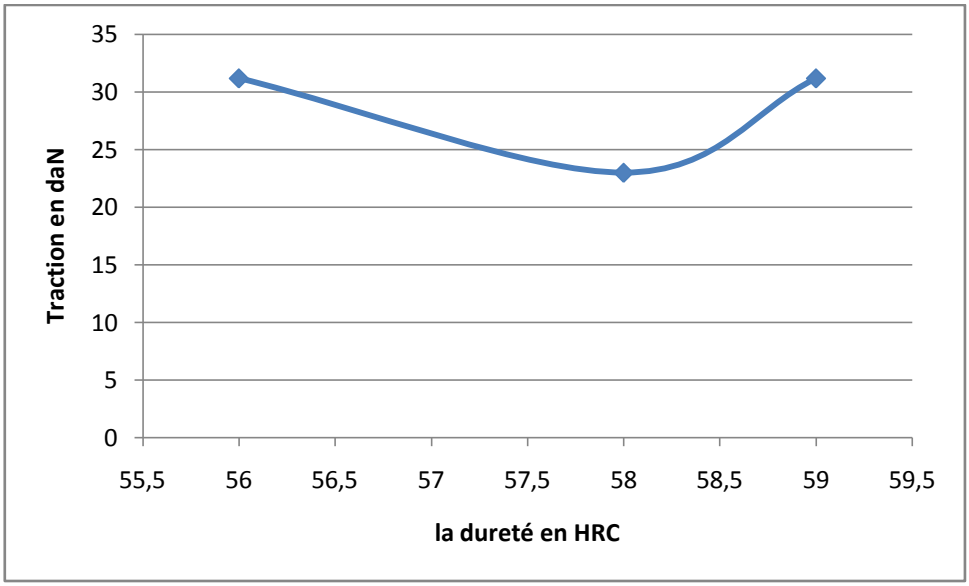


Figure 4.5 : courbe de traction en fonction de dureté d'un acier 100C6 après trempe étagé de température 900°C à 800°C de temps de maintien(1) est 30 min avec revenu à 300 °C.

La figure 4.5 représenté la courbe de traction d'un acier 100C6 en fonction de dureté après trempe étagé de température d'austénisation 900°C à 800°C de temps de maintien(1) est 30 min avec revenu à 300 °C.

La meilleure valeur de traction et dureté sur la courbe est 31.19daN et 59HRC.

4.2.2Métallographie :

L'acier 100C6 est un acier faiblement allié. Il est utilisé généralement à Roulements de tous types.

Dans cette partie nous avons travaillé avec le microscope optique pour réaliser les structures de l'acier 100C6 de déférents traitements thermiques Mais nous n'avons pas réussi.

Références bibliographiques

[1] Fédération Française de l'Acier, Comment fabrique-t-on l'Acier, juillet 2012.

[2] www.technologuepro.com/cours.../chapitre-3-etude-du-diagramme-fer-carbone.pdf

[3] Michel Dupeux, Aide-mémoire science des matériaux, DUNOD, Paris 2004.

[4] Guy Murry, Aciers Généralités, Techniques de l'ingénieur, traité Matériaux métalliques, M300, Centre français d'exploitation 2002.

[5] Fatima Zohra Lemmadi, thèse de magistère, Rapporteur Mr. A. Chala, Univ. De Biskra.

[6] Guy Murry, Aide-mémoire Métallurgie, Métaux • Alliages • Propriétés, DUNOD, Paris 2e édition, 2010

[7] Guy Murry, Transformations dans les aciers, Normalisation (AFNOR), Techniques de l'ingénieur, traité Matériaux métalliques M 1 115, Centre français d'exploitation 2002.

[8] www.chm.ulaval.ca/gecha/chm2904/presentations/hiver_2016/acier.pptx

[9] https://fr.wikipedia.org/wiki/Acier

[10] William D. Callister, Jr, Science et génie des matériaux, MODULO, Canada 2001.

[11] Cours désignation des métaux Enseignants:, Arfaoui Ali, Chaker Med Amir Année 2009/2010

[12] Cours classification_des_aciers_et_des_fontes univ -biskra

[13] http://outils.construiracier.com/acier_outils/alliage.htm

[14] Cours Traitements thermiques, Classification et Désignation des aciers et fontes, Pr. Bensaada Said Professeur Chef d'équipe de recherche, Laboratoire LARRHYS, Faculté des sciences et de la technologie, Univ. de Biskra.

[15] http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://ptetoile.free.fr/pdf/traitements_thermique.pdf

[16] M.T. Leger, P. Detrez. Les aspects métallurgiques du traitement thermique des aciers. Notice CTIF (1976), P 31, 38, 42, 43, 56, 76

[17] R.F. MEHL et C.WELLS, Constitution of High Purity Iron-Carbon Alloys, Technical Publication n° 798, A.I.M.E. Iron and Steel Division, 125 (1937); Metals Technology, join 1937.

[18] P. KOISTINEN et R.E. MARBURGER, Acta Met, (1959)

[19]A.CHALA, thèse de magistère, Constantine (1994)

[20]C.Bouchy et F.Gobin « Métallurgie »,1-Métallurgie structurale, Armond Collin(1971)

[21] M.Aouragh thèse de magister à université d'Annaba (2007).

[22] Michel Bramat, Martin Villeneuve, Technologie des métaux, contrôles et essais des soudures,De Boeck, Canada juillet 2007.

[23] G.KRAUSS et A.R.MARDER, Met, Trans, (Sep, 1971).

[24] D.V.EDMONDS et R.C.COCHRANE .Met, Trans ,21A, (juin 1990).

[25] M. Massin, Métallurgie Pratique pour Mécaniciens, tome 1, Pyc édition 1982

[26] http://philippe.berger2.free.fr/productique/ressources/metallurgie/trait_thermic/diagramme_trc.htm

[27] http://metal-connexion.fr/forum/diagramme-de-traitement-thermique-ttt-explication-t1255.html

[28] www.aciers-premium.fr/actuel

Conclusion

L'étude a été réalisée sur un acier faiblement allié au chrome 100C6. Il est utilisé généralement à Roulements de tous types.

Notre étude s'est portée sur l'influence de traitement thermique sur les propriétés mécaniques de dureté et traction de l'acier100C6.

A travers ce travail, on a pu mettre en évidence l'effet de la température d'austénitisation Et temps de maintien sur le comportement mécanique.

Pour réaliser ce travail nous avons utilisé plusieurs techniques conventionnelles à savoir la dureté et traction.

Au terme de cette étude nous sommes en mesure de dégager quelques points essentiels :

- La dureté est augmente après les traitements thermiques ;
- La Resistance mécanique diminue après les traitements thermiques ;

- La dureté est augmente après le trempe étagé par apport à celle des premiers traitement thermique ;
- La dureté dans la trempe étagé est diminue en fonction du temps de maintien ;
- La Resistance mécanique diminue après traitements thermiques en comparaison à celle obtenue après recuit
- La Resistance mécanique reste stable dans le traitement de trempe étagée pour tout les temps de maintien.