

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

جامعة البليدة 1

UNIVERSITE DE BLIDA SAAD DAHLEB



FACULTÉ DES TECHNOLOGIES
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique
Spécialité : Ingénierie Des Matériaux Et Des Surfaces

TRAITEMENT THERMIQUE D'UN
ACIER A OUTIL POUR
PROFILAGE A FROID

Présenté par :

TAYEBI MOHAMED

BOUGHOUFALA FAYCAL

MILOUD DAHMANE KHALED

Proposé et encadré par :

Dr. HADJI YUCEF

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2020-2021

Dédicaces

Chaleureusement,

Je souhaite dédier ce modeste travail synonyme de concrétisation de tous mes efforts fournis ces dernières années :

A la lumière de ma vie, mes chers parents en reconnaissance de leur amour et de leurs sacrifices a mon égard sans eux je ne serai jamais arrivé à ce stade, je leurs souhaite une bonne santé, que dieu me les garde.

A toute ma famille et à tous mes enseignants

A tous les gens qui comptent pour moi et pour lesquels je compte.

TAYEBI MOHAMED

Dédicaces

Je dédie ce travail a mes chers parents mon père Miloud Dahmane Abdelkader et ma mère Abbad Amina pour leur patience ,leur amour,leur soutien et leur encouragement

A mes frères et a mes amies et mes camarades sans oublier tout les professeur que ce soit du primaire du secondaire ou de l'enseignement supérieur

MILOUD DAHMANE KHALED

Dédicaces

Je dédie ce mémoire A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour et leurs prières tout au long de mes études.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible.

Merci d'être toujours là pour moi.

BOUROFALLA FAYCAL

REMERCIEMENTS

Au terme de ce Mémoire je tiens à remercier tout naturellement en premier lieu dieu le tout puissant qui m'a donné la force, le courage et la patience de mener à bien ce travail.

Je tiens tout particulièrement à remercier mon promoteur Monsieur HADJI YUCEF tout d'abord, pour avoir accepté de diriger cette étude ainsi que pour sa patience, et les conseils avisés qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

Je tiens à saluer, à travers ce modeste travail tous mes amis et mes camarades, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à bonne réalisation de ce travail. je vous suis reconnaissant.

Merci à tous, Merci pour tout

Résumé

Le traitement thermique d'un matériau est un groupe de procédés industriels utilisés pour modifier les propriétés physiques, mécaniques et parfois chimiques de ce dernier. Ce traitement est utilisé lors de la fabrication des matériaux comme le verre, le bois, les aliments et surtout les métaux.

On appelle acier un alliage de fer et de carbone dont la teneur en carbone est inférieure à 2% massique. Cette teneur limite vient de la limite de solubilité du carbone, à haute température, dans la phase cubique à faces centrées (CFC), appelée austénite

l'acier utilisée dans notre travail est un acier a outils pour travail a froid Z160 CDV12 K110 ,l'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de traitement thermique (Trempe , 1er Revenue , 2eme Revenue) sur la dureté de l'acier ainsi que le changement microstructural de cette acier

afin d'étudier l'effet de traitement thermique sur l'acier a outil pour travail a froid Z160CDV12 K110 différentes action ont été adoptées :

- étude de l'acier a l'état brute
- préparation de l'acier avant le traitement thermique
- Trois traitements thermiques : Trempe ,1er Revenue , 2eme Revenue avec des différents milieux de refroidissement
- nettoyage de l'acier après les traitement thermique
- étude microstructurale de l'acier pour chaque traitement thermique avec mesure de dureté

les résultats obtenue ont montré que :

- Le traitement thermique de trempe n'est pas suffisons pour utiliser directement en industrie
- Le milieu de refroidissement et la vitesse de refroidissement a une grande influence sur le traitement thermique de l'acier
- les traitement de revenu on diminuer la dureté

ملخص

المعالجة الحرارية للمادة هي مجموعة من العمليات الصناعية المستخدمة لتعديل الخواص الفيزيائية والميكانيكية وأحياناً الكيميائية لهذه الأخيرة. يستخدم هذا العلاج أثناء تصنيع المواد مثل الزجاج والخشب والمواد الغذائية وخاصة المعادن. الصلب هو سبيكة من الحديد والكربون يقل وزنه عن 2% من الكربون. يأتي هذا المحتوى المحدد من حد قابلية ذوبان الكربون ، عند درجة حرارة عالية ، في المرحلة المكعبة المتمحورة على الوجه (CFC) ، والتي تسمى الأوستينيت. الفولاذ المستخدم في عملنا عبارة عن أداة فولاذية للأعمال الباردة Z160 CDV12 K110 ، والهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير المعالجة الحرارية (التبريد ، العائد الأول ، العائد الثاني) على صلابة الفولاذ وكذلك التغيير في البنية الدقيقة لهذا الفولاذ

من أجل دراسة تأثير المعالجة الحرارية على أداة العمل الباردة Z160CDV12 K110 تم اعتماد إجراءات مختلفة:

- دراسة خام الحديد
- تحضير الفولاذ قبل المعالجة الحرارية
- ثلاث معالجات حرارية: التبريد ، التسخين الأول ، التسخين الثاني بوسائط تبريد مختلفة
- تنظيف الحديد بعد المعالجة الحرارية
- دراسة هيكلية دقيقة للصلب لكل معالجة حرارية مع قياس الصلابة
- أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها ما يلي:
- لا تكفي المعالجة الحرارية للتبريد للاستخدام المباشر في الصناعة
- وسيط التبريد ومعدل التبريد لهما تأثير كبير على المعالجة الحرارية للصلب
- معالجات العائد تقلل من الصلابة

summary

The heat treatment of a material is a group of industrial processes used to modify the physical, mechanical and sometimes chemical properties of the latter. This treatment is used during the manufacture of materials such as glass, wood, food and especially metals.

Steel is an alloy of iron and carbon whose carbon content is less than 2% by weight. This limiting content comes from the solubility limit of carbon, at high temperature, in the face-centered cubic phase (FCC), called austenite.

the steel used in our work is a tool steel for cold work Z160 CDV12 K110, the objective of this work is to study the effect of heat treatment (Quenching, 1st Tempering, 2nd Tempering) on the hardness of the steel as well as the microstructural change of this steel

In order to study the effect of heat treatment on cold work tool steel Z160CDV12 K110 different actions have been adopted:

- study of raw steel
- preparation of steel before heat treatment
- Three heat treatments: Quenching, 1st Tempering, 2nd Tempering with different cooling media
- cleaning of steel after heat treatment
- microstructural study of the steel for each heat treatment with hardness measurement

the results obtained showed that:

- The quenching heat treatment is not enough to use directly in industry
- The cooling medium and the cooling rate has a great influence on the heat treatment of steel
- the tempering treatments reduce the hardness

Sommaire

Introduction	01
Chapitre I : BIBLIOGRAPHIQUES.	
I- Définition del'acier.....	02
II- Classification des aciers.....	02
II-1- Acier de qualité.....	02
II-2- Acier Spéciaux.....	02
II-3- Aciers pour moulage plastique.....	02
II-4- Aciers Inoxydables, résistants à la corrosion.....	03
II-5- Aciers de Cémentation.....	03
II-6- Aciers de Traitement.....	03
III-1- Définitions des aciers à outils.....	04
III-2- L'utilisation des aciers à outils.....	04
III-3- Composition chimique.....	06
III-3-1- Éléments d'alliage.....	06
III-3-2- Carbone.....	06
III-4- Désignation des aciers à outils.....	07
III-4-1- Aciers à outils alliés et non alliés pour travail à froid.....	07
III-4-2- Aciers à outils pour travail à chaud.....	09
III-4-3- Les Aciers rapides.....	10
IV-5- Les Structures métallographiques.....	11
IV-5-1- Structure de solidification des aciers à outils.....	11
V- Diagramme d'équilibre fer carbone	13
VI- LES désignation de Z 160 acier pour travail à froid	14
Chapitre II : TRAITEMENT THERMIQUE DES ACIERS	
I- Définitions.....	16
II- Procédés des traitements thermiques	16
III- Chauffage des pièces	17
III- 1- Par transmission de la chaleur.....	17
III- 2- Par production de la chaleur dans la pièce.....	17
III- 3- Refroidissement des pièces	18

IV- Les transformations de phase à l'état solide dans l'acier.....	19
IV- 1-Transformations isothermes	19
IV- 2.Transformation perlitique	20
IV- 3.Transformation intermédiaire (bainitique)	21
IV. 4.Transformation martensitique	21
V. Le but du traitement thermique.....	22
VI .Traitement thermique acier z160k110.....	23
VI- 1-Recherche d'une haute dureté (env. 61HRC).....	23
VI- 2-Recherche d'une haute ténacité (dureté env. 53/56 HRC).....	23
VI-3-Application.....	24
VI- 4-Schéma du traitement thermique acier z160 k110.....	24
VII-Les types de traitement thermique	25
VII-1- Trempe.....	25
VII- 1- a- Les types de trempe	25
VII- 1- b- Cycle de trempe	26
VII- 1- C-Trempe acier z160 k110.....	26
VII- 2-Le Revenu.....	27
VII- 2-A-Définition De revenu	27
VII- 2-B- Différents types de revenu	28
VII- 2-C-Revenu Acier z160k110	29
VII- 2-D-Courbe de revenu.....	29
VII- 2-E-Traitement de surface Nitruration.....	30
VII- 3- Le recuit.....	31
VII- 3-a-Définition De recuit	31
VII- 3-b-Types de recuit peuvent être envisagés.....	31
VII- 3-c- La vitesse de refroidissement	31
VII- 3-d- Exemples d'utilisation du recuit.....	31
VII- 3-e- Le but de recuit	31
VII- 3-f- Recuit acier z160 k110.....	32
VII- 3- g- Recuit de détente acier z160 k110.....	32
Chapitre III : acier Z160 CDV12 K110	
I- Acier z160 cdv12.....	33
II- Propriétés	33

III-Diagramme de transformation en refroidissement continu / Diagramme CCT ...33

Chapitre IV : partie expérimentale.

Introduction.....	35
I- Problématique	35
I-1-Acier utilisé	35
I-2- Préparation des échantillons	35
I-3 Polissage	36
II- Traitements thermiques	37
II-1- Cycle d'un traitement thermique	38
II-2- Traitements thermiques appliqués	38
II-2-2- La trempe	38
II-2-2-3 Four de trempe.....	39
II-2-2-4- Le revenu	40
III-mesure de la dureté	41
III-1- Dureté Vickers HV.....	43
III-2 -Dureté Rockwell.....	44
IV-Examen métallographique.....	46
IV-1Attaque chimique	46
IV-2-Examen au microscope.....	46
IV-3- Microscope utilisé	46
V-Résultat et interprétation	49
VI-Conclusion générale.....	55

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

Les aciers au carbone sont les plus utilisés dans l'industrie. En raison de leurs excellentes propriétés physiques et chimiques, la maîtrise des techniques de leur élaboration et leur production ils sont largement employés dans les secteurs de l'énergie, comme les plateformes de forage, le transport du pétrole ou du gaz naturel par les gazoducs ou oléoducs...etc

L'objectif essentiel de notre travail est l'étude de l'effet du traitement thermique et le temps de maintien sur la microstructure et les propriétés mécaniques de l'acier S235.

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

Microscopie optique

. Mesure de microdureté

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

- Le premier chapitre : BIBLIOGRAPHIQUES.
- Le deuxième chapitre : TRAITEMENT THERMIQUE DES ACIERS.
- Le troisième chapitre : Acier S235.
- Le quatrième chapitre : PARTIE EXPERIMENTALE AVEC RESULTAT ET INTERPRETATION .

I-Définition del'acier

L'acier est un alliage métallique constitué principalement de fer et de carbone entre 0,02 % et 2% en masse pour le carbone.

Un acier de haute teneur en carbone sera employé pour sa grande dureté alors qu'un acier de teneur plus faible est moins dur et plus malléable. Il contient généralement de petites quantités d'autres éléments que le fer et le carbone, incorporés, volontairement ou non, au cours de son élaboration. On peut également y ajouter des quantités plus importantes d'éléments d'alliage; il est considéré alors comme un acier allié.[1]

II- Classification des aciers

Les nuances d'acier sont classées en groupe selon leurs propriétés et/ou leur champ d'applications privilégiées.

II -1-Acier de qualité

Les aciers de qualité désignent tous les aciers alliés et non alliés qui sont classés par les numéros de groupes d'acier 1.00xx jusqu'à 1.09xx. Ils possèdent en général très peu de propriétés définies, parmi lesquelles par ex. une limite d'élasticité minimale pour un acier de construction: 1.0570 / AFNOR E36-3 avec une limite d'élasticité d'au moins 355 Mpa.[2]

II-2-Acier Spéciaux

Les aciers spéciaux désignent les aciers non alliés et alliés qui sont classés par les numéros de groupe d'acier de 1.1xxx à 1.89xx. Ils possèdent en général un degré de pureté plus élevé et se caractérisent par des teneurs assez faibles en phosphore et en soufre. Par définition, tous les aciers à outils, rapides ou nitrura blés sont des aciers spéciaux.[2]

II-3-Aciers pour moulage plastique

L'acier pour moulage plastique désigne une catégorie d'acier dont les caractéristiques permettent non seulement le travail à froid ou celui à chaud mais, de plus, l'intégration dans les processus de transformation du plastique. Comme les contraintes sont très variées, bon nombre d'aciers à outils et d'aciers spéciaux de construction disponibles sont utilisés pour la fabrication de pièces en plastique. Là, on distingue les outils pour injection (le plastique durcit

dans l'outil, par exemple dans un moule) et les outils pour coulée (dans ce cas, l'acier est en contact continu avec du plastique liquide, par exemple des outils d'extrusion). Les aciers pour moulage plastique doivent être très polissables (haut degré de pureté) en raison de la très haute qualité requise pour la surface du produit fini, résistants à la chaleur.[2]

II-4-Aciers Inoxydables, résistants à la corrosion

Les aciers résistants à la corrosion ont en général une teneur élevée en chrome (au moins 12 %), par ex. 1.2083 / AFNOR Z40C14. Ils ne garantissent pas forcément l'absence totale de rouille mais empêchent tout au moins les attaques de rouille problématiques d'un point de vue technique. Les plus performants sont les aciers résistants à l'acide qui ont une teneur en nickel d'au moins 8 %, par ex. : 1.4301 / AFNOR Z5CN18-9. Les aciers inoxydables et résistants à la corrosion trouvent en général leurs applications dans l'agro-alimentaire et dans la chimie. Selon la constellation d'alliage, on aura un type d'acier martensitique (1.2316 / AFNOR Z35CD17, magnétisable) ou aussi austénitique (1.4301 / AFNOR Z5CN18-9, non magnétisable).[2]

II-5-Aciers de Cémentation

Les aciers de cémentation sont non alliés à moyennement alliés, avec en général moins de 0,25 % de carbone. À des températures > 920 °C se produit un enrichissement en carbone (carbonisation) par ex. par le biais de poudres ou granulés, de gaz ou de bain de sel. Le carbone se diffuse dans la couche superficielle de la pièce jusqu'à une profondeur de 1,5 – 2 mm. Après la cémentation, l'on procède à la combinaison et la mise en œuvre de différents types de traitements de trempe prenant en considération le fait que doivent être choisies des températures de trempe différentes respectant les teneurs divergentes en carbone du cœur et de la surface. Les aciers de cémentation atteignent des duretés superficielles allant jusqu'à 62 HRC, alors que la dureté au cœur est déterminée par les teneurs de l'alliage.[1]

II-6-Aciers de Traitement

Les aciers de traitement (traiter: trempe et revenu) sont des aciers non alliés et alliés, ayant en général une teneur en carbone comprise entre 0,25 et 0,60 %, particulièrement adaptés à la trempe et affichant des caractéristiques mécaniques précises après le revenu (par ex. une résistance à la traction souhaitée avec une bonne ténacité, qui ne pourrait pas être atteinte en

l'état recuit normal). Parfois l'état de livraison est recuit et l'acier sera traité à dessein (par ex. 1.1730 / AFNOR XC48), ou bien l'acier est livré en tant que "prétraité" à l'état déjà traité.[2]

III-1-Définitions des aciers à outils

On appelle acier un alliage de fer et de carbone dont la teneur en carbone est inférieure à 2% massique. Cette teneur limite vient de la limite de solubilité du carbone, à haute température, dans la phase cubique à faces centrées (CFC), appelée austénite. Des éléments d'alliages sont généralement ajoutés à un alliage Fe-C afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques. Le fer pur possède une structure cubique à faces centrées pour une température s'étendant de 912 °C à 1394 °C Cette phase est plus communément appelée phase austénitique pour les aciers au carbone et est notée γ . En dehors de cet intervalle de température, le fer pur possède une structure cubique centrée. Cette structure est appelée $Fe\delta$ si l'on se trouve entre 1394 °C et 1538 °C et, en dessous de 912 °C, on note $Fe\alpha$ la phase présente, et on la nomme ferrite α . Ces deux structures sont moins compactes que la structure CFC. [3]

III-2-L'utilisation des aciers à outils

Les principales utilisations des aciers à outils est de mettre en œuvre des pièces (outils). Bien qu'ils furent développés initialement pour la fabrication d'outils d'usinage, de moules ou de matrices, ils sont de plus en plus utilisés dans la fabrication de pièces finies ou semi-finies qui sollicite une résistance à l'usure élevée (ex. : sièges de soupapes). Il existe plusieurs classes d'aciers à outils qui sont classés selon leur utilisation principale tableau (1). La microstructure et les propriétés spécifiques de chacune de ces classes d'acier sont obtenues en ajoutant des éléments d'alliage (Mn, Cr, Si, V, Ni, Mo, W et V) à des teneurs appropriées, ainsi que de la teneur en carbone. La teneur en carbone varie beaucoup (0.1 à 2.85 %m C ; 1 à 43 %m total en éléments d'alliage), [4].

	classe d'acier à outils	Principaux éléments d'alliage (%m)	%mC	Teneur totale en éléments d'alliage (%m)
W	Non alliés	Cr et V	0.7 – 1.5	< 1
L	Faiblement alliés	Mn, Cr, V, Ni et Mo	0.45 – 1.1	1.8 – 5
S	Résistants aux chocs	Mn, Si, Cr, Mo, W et V	0.4 – 0.65	1.5 – 7.5
O	Pour travail à froid, trempé à l'huile	Mn, Si, Cr, Mo et W	0.85 – 1.55	1 – 5.5
A	Pour travail à froid, trempé à l'air	Mn, Si, Cr, Ni, Mo, W et V	0.45 – 2.85	3.5 – 15
D	Pour travail à froid, à haut Cr et haut C	Cr, Mo, V et Co	1.4 – 2.5	11 – 18.7
H	Pour travail à chaud	Si, Cr, Mo, W, V et Co	0.25 – 0.7	6.6 – 27.8
T, M	Aciers à coupe rapide	Cr, Mo, W, V et Co	0.75 – 1.4	5.8 - 43
P	Pour moules	Mn, Cr, Ni et Mo	0.1 – 0.65	1.2 – 17.6

Tableau I-1: Principales classes d'acier à outils [4]

Les trois propriétés les plus importantes pour les aciers à outils sont typiquement la résistance à l'usure, la ténacité et la dureté à chaud. Le tableau (I-1) présente de façon qualitative les propriétés typiques pour les classes d'acier à outils. En règle générale, plus la teneur en éléments d'alliage et carbone augmentent, plus la résistance à l'usure et la dureté à chaud augmente, alors que la ténacité diminue. Ceci est principalement dû au fait qu'avec une augmentation en carbone et en éléments d'alliage, la fraction volumique de carbures alliés augmente. La dureté des carbures alliés est élevée (1200 à 3000 HV [4]), mais ils sont généralement fragiles. Les cinq types de carbures alliés qui sont présents dans les aciers à outils sont : MC, M23C6, M2C, M7C3 et M6C.

classe	classe Résistance à l'usure	Ténacité	Dureté à chaud
W	faible	Moyenne	faible
L	faible	Moyenne	faible
S	faible	Elevée	moyenne
O	moyenne	Faible	faible
A	moyenne	Moyenne	moyenne
D	élevée	Faible	moyenne
H	moyenne	Moyenne	élevée
T	élevée	Faible	élevée
M	élevée	Faible	élevée
P	Faible	Elevée	moyenne

Tableau I-2: Résistance à l'usure, ténacité et dureté à chaud des aciers à outils [4]

III-3 Composition chimique

III-3-1 Éléments d'alliage

Lors des opérations de mise en forme, les outils sont soumis à des sollicitations extrêmement complexes. Les propriétés requises au niveau des aciers pour de tels emplois peuvent être obtenues si l'on ajoute à l'acier au carbone un certain nom

III-3-2 Carbone

C'est l'élément essentiel pour durcir l'acier. La variation de la dureté Rockwell C (HRC) en fonction de la teneur en carbone d'un acier non allié après transformation martensitique est illustrée. Au-delà d'une teneur en carbone de 0,6 % en masse, 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 et des aciers de coupe rapide. Il faut noter que l'augmentation progressive de la teneur en carbone conduit à un abaissement de la température du liquidus et du solidus et par conséquent, à une réduction des domaines de température correspondant à la transformation à chaud et au traitement thermique. [5] d'éléments d'alliage que nous allons énumérer.

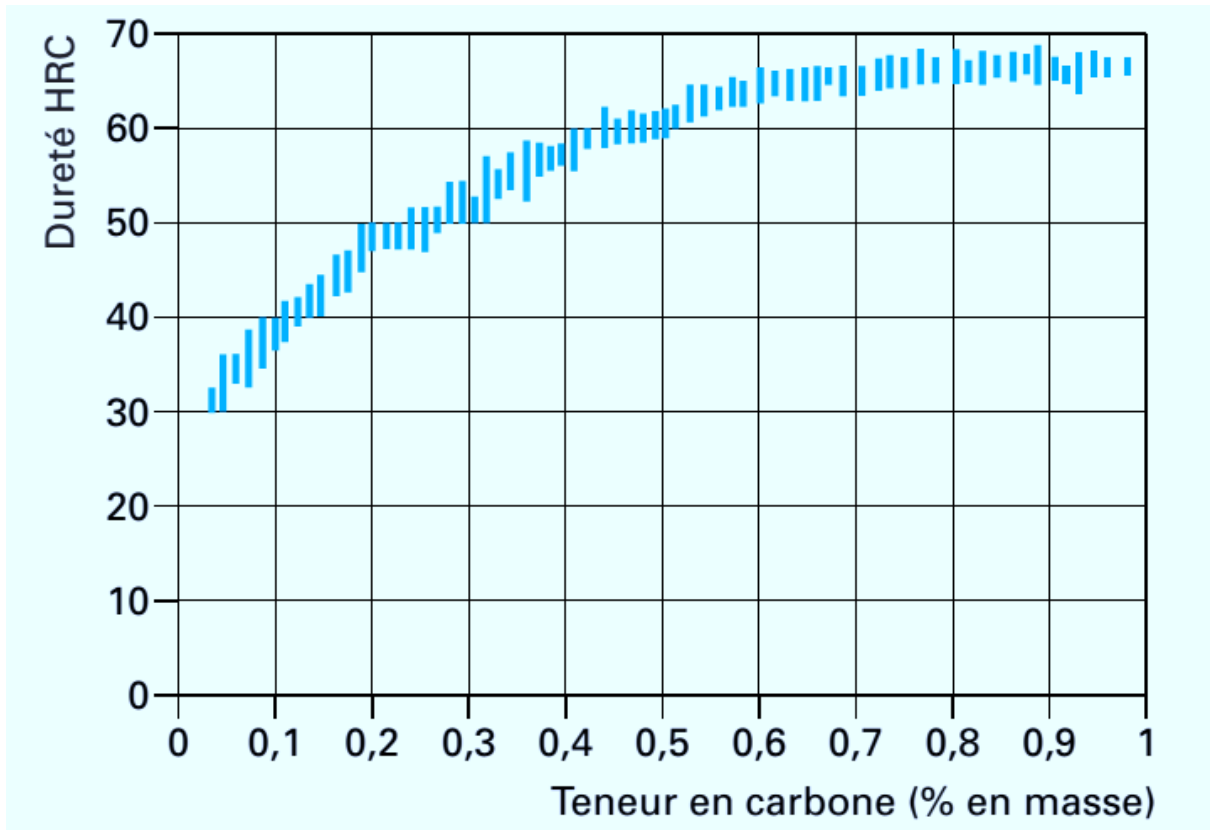


Figure I.1– Dureté Rockwell C de la martensite[5]

III-4 Désignation des aciers à outils

La désignation des aciers à outils a fait l'objet d'une révision avec la sortie de la norme internationale ISO 4957 en 1999 et de la norme européenne NF EN 10027-2 en 1992 [6]. Les nuances d'aciers à outils sont classées, selon leur mode de travail, en quatre catégories :

- les aciers à outils alliés ;
- les aciers à outils non alliés pour travail à froid ;
- les aciers à outils pour travail à chaud ;
- les aciers à coupe rapide.

III-4-1 Aciers à outils alliés et non alliés pour travail à froid

Ces types d'acier contiennent la teneur totale en éléments d'alliage la plus élevée dans les aciers à outils pour travail à froid (13 à 19 %m). Ces aciers contiennent principalement du chrome (typiquement 11 à 13,5 %mCr), mais ils peuvent contenir également du molybdène, du tungstène ou du vanadium. Une des particularités de ce type d'acier est sa teneur élevée en carbone qui se situe typiquement entre 1,4 et 2,5 %mC, mais certains aciers à outils spécifiques à la métallurgie des poudres peuvent contenir près de 3 %mC (ex. : Vanadis 10 : 2,9 %mC, 8 %mCr, 1,5 %m Mo et 9,8 %mV). La résistance à l'usure exceptionnelle des aciers

de cette classe provient de la fraction importante de carbures alliés (principalement de type M7C3 et MC) qui peut atteindre près de 50 %v. La figure (I.2 (a)) présente la microstructure d'un acier de classe D qui contient une fraction volumique importante de carbures. Un acier typique D contient une teneur élevée en carbone (2.15 – 2.5 %mC), en chrome (12.5 %mCr) et en vanadium (4 %mV), ce qui favorise une fraction élevée de carbure. Une réduction de la teneur en carbone et en éléments d'alliage aura pour effet de réduire la fraction volumique de carbures. [6]

Cette classe d'aciers comprend six nuances dont la teneur en carbone est comprise entre 0,45 et 1,20 % en masse. Leur désignation comporte le symbole préfix C, suivi d'un nombre exprimant la teneur moyenne en carbone, en centièmes pour cent, puis de la lettre U spécifique de la désignation d'aciers à outils

Ces aciers sont caractérisés par :

- des niveaux de dureté élevés à la température ambiante (entre 56 et 63 HRC)
- une résistance à l'adoucissement faible
- des teneurs en carbone élevées (supérieures à 0,6 % en masse)
- des teneurs en éléments fortement carburières tels que tungstène, molybdène et vanadium assez basses ($W < 2 \%$, $Mo < 1 \%$, $V < 0,5 \%$).

Cette catégorie regroupe les aciers dont les compositions chimiques s'étendent des faibles additions de Cr, Mn, Si, W à des teneurs en chrome correspondant à celles des aciers très résistants à l'usure de la famille X 210Cr12 (de composition: 12 % Cr, 2,1 % C).figure (I-2)

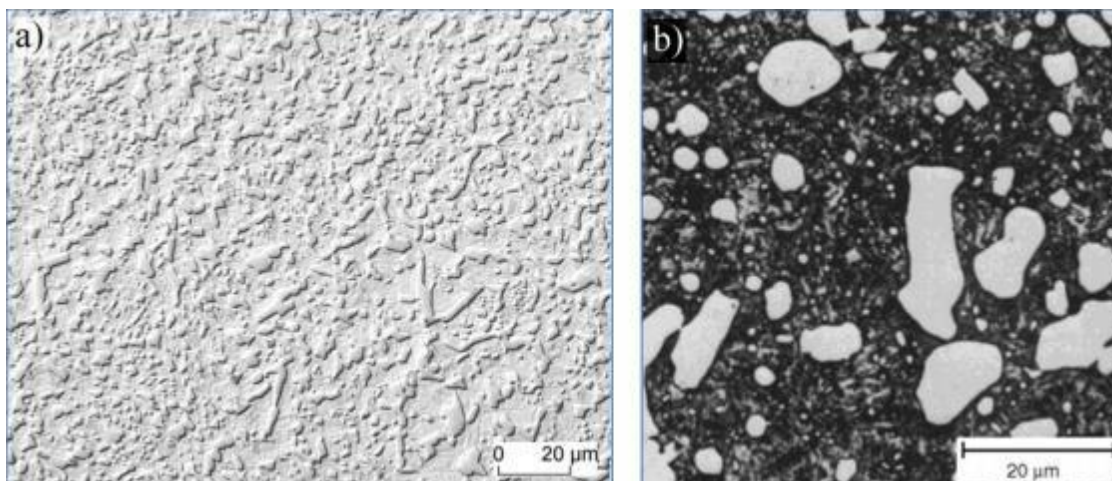


Figure I.2 : Micrographies d'aciers à outils pour travail à froid [6]

III-4-2 Aciers à outils pour travail à chaud

Les outils de ces types ont été élaborés pour résister à l'adoucissement durant de longs sphéroïdes à haute température. Les aciers de cette classe sont divisés en trois catégories basées sur leur principal contenu en éléments d'alliage soit : le chrome, le tungstène ou le molybdène. Leur teneur en carbone est relativement faible (0.25 – 0.70% mC), ce qui leur confère une bonne ténacité. La microstructure typique d'un acier H13 est présentée à la figure (I-3-a). La fraction volumique des principaux carbures (type MC, riche en vanadium) est relativement faible étant donné sa faible teneur en carbone (0.41 % mC)[10]. La trempabilité de la matrice est élevée, étant donné sa teneur en chrome, qui est typiquement supérieure à 4 % m Cr. La figure (I-3-b) présente la microstructure typique d'un acier H23, qui contient des carbures principalement composés de tungstène. La fraction volumique de carbures des aciers à outils pour travail à chaud au tungstène et au molybdène est beaucoup plus élevée puisque les carbures de tungstène (M₆C; typiquement Fe₄W₂C ou Fe₃W₃C) contiennent une fraction importante de fer et le ratio Métal/Carbone est élevé (6/1). Ce faible élevé M/C permet de générer une fraction volumique importante de carbures, même si la teneur en carbone est relativement faible. Ces aciers sont caractérisés par :

- des niveaux de dureté moyens à la température ambiante, compris entre 44 et 55 HRC ;
- une résistance à l'adoucissement relativement forte ;
- des teneurs en carbone comprises entre 0,3 et 0,6 % (en masse), avec des additions plus ou moins importantes d'éléments carburières tels que le chrome, le molybdène, le tungstène et le vanadium et, dans certains cas, une addition complémentaire de cobalt.

En dehors des aciers qui figurent dans la norme ISO 4957, il existe des nuances à très basse teneur en carbone durcies par précipitation de phases intermétalliques associant les éléments d'alliage nickel, aluminium et cuivre figure (I-3)[7].

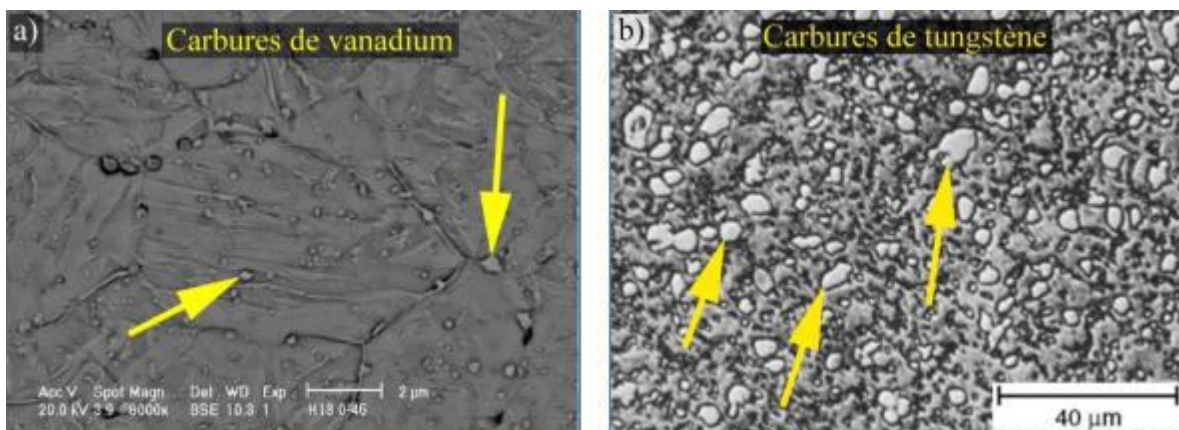


Figure I.3 : Microstructures d'aciers à outils [7].

III-4-3 Les Aciers rapides

Les aciers rapides sont les aciers à outils qui contiennent la 6 à 45 % m). Ces classes ont la teneur totale la plus élevée en éléments d'alliage (d'acier contiennent principalement du Mo, du W, du Cr, du V et du Co. La classe M contient principalement du molybdène, alors que la classe W contient principalement du tungstène. La particularité des aciers rapides est de maintenir une dureté élevée à haute température (dureté à chaud). La dureté à chaud C (Roberts, 1998). La dureté à 595 °C est de 48 HRC et de 52 HRC à 540 °C typique est de microstructure typique des aciers rapide est composée d'une matrice martensitique et de carbures alliés (principalement M₆C et MC) [7]. La figure (I-4) présente des micrographies typiques d'aciers rapide frittés et revenus ; un acier M2 à la figure (I-4(a)) et un acier T6 à la figure (I-4(b)) Les aciers à coupe rapide sont caractérisés par

- des niveaux de dureté élevés à la température ambiante, compris entre 60 et 70 HRC ;
- une résistance à l'adoucissement élevée ;
- des teneurs en carbone supérieures ou égales à 0,8 % ;
- des additions importantes d'éléments carburigènes tels que le tungstène, le molybdène, le vanadium et, à un degré moindre, le chrome. La résistance à l'adoucissement peut être fortement améliorée par des additions de cobalt allant dans certains cas jusqu'à 10 %. Leur composition chimique permet une désignation abrégée définie de la manière suivante ;
- les trois chiffres donnant les teneurs moyennes en W, Mo, V dans cet ordre pour les aciers sans cobalt ;
- les quatre chiffres donnant les teneurs moyennes en W, Mo, V, Co dans ce même ordre pour les aciers contenant du cobalt ;
- les trois ou quatre chiffres sont précédés du symbole HS (*high speed*).

Le chrome et le carbone sont omis. Dans le cas où deux nuances se différencient uniquement par la teneur en carbone, le symbole C placé en fin de la désignation abrégée permet de distinguer la variante à teneur en carbone plus élevée

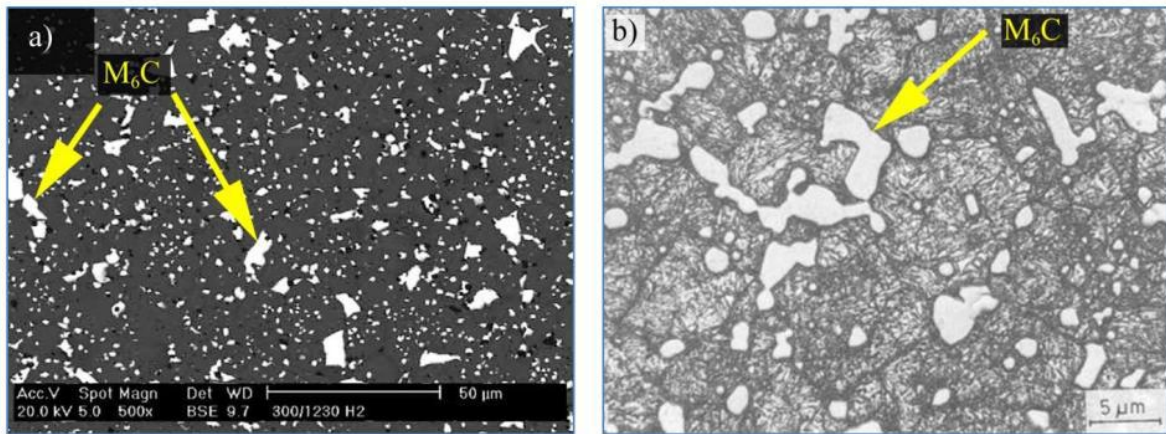


Figure I.4 : Micrographie d'un acier fritté [8].

IV-5 Les Structures métallographiques

Les structures de solidification des aciers à outils sont en général relativement complexes, notamment dans le cas des nuances hautement chargées en carbone et en éléments carburigènes. Le carbone est l'élément dont l'influence sur la structure est la plus marquée. Il est bon de prendre comme base d'étude les deux diagrammes fer-carbone connus : Nous nous intéressons uniquement au diagramme métastable qui est le plus proche de la réalité.

Au cours de la solidification de l'acier liquide, il peut se produire deux phénomènes différents selon la teneur en carbone :

- pour une teneur en carbone (notée C) inférieure à celle du point E, il commence à se former des cristaux de ferrite si $C < 0,5 \%$, et des cristaux d'austénite si $C > 0,5 \%$. Mais, dans tous les cas, la structure devient entièrement austénitique lorsque tout l'acier est solidifié
- pour une teneur en carbone supérieure à celle du point E, qui correspond en fait à la solubilité maximale du carbone dans l'austénite, un mélange eutectique de cristaux de carbures à base de fer appelé lédeburite (carbures du type M_7C_3) précipite en même temps que l'austénite. L'addition d'un tiers élément au système fer-carbone se traduit par des changements de structure qui peuvent être décrits par l'utilisation des diagrammes ternaires Fe-X-C [9].

IV-5-1 Structure de solidification des aciers à outils

Les problèmes rencontrés dans la fabrication des aciers à outils hautement chargés en carbone et en éléments carburigènes sont associés à la ségrégation des carbures qui se produisent inévitablement au cours du processus de solidification de ce type d'acier. Beaucoup de travaux ont été faits dans le domaine des aciers à outils au chrome et des aciers rapides au tungstène ou au tungstène-molybdène. Dans la plupart des cas, il a été constaté que la

séquence de solidification s'effectue selon un processus analogue à celui qui a été mis en évidence dans le cas de l'acier rapide à 18 % de tungstène.

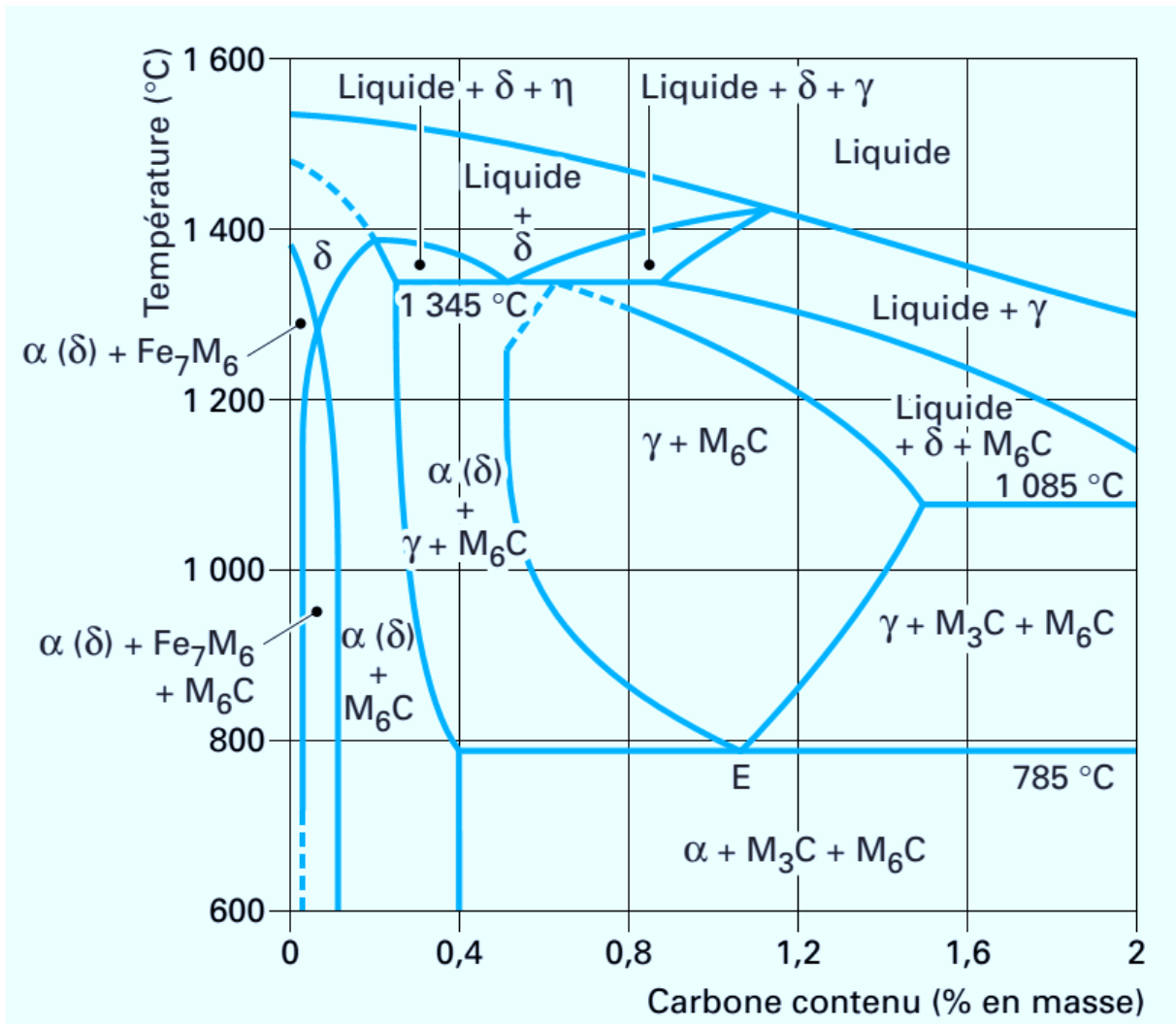


Figure I-5 Diagramme de phase ternaire. [10]

La figure (I-5) est une coupe binaire à 18 % W du système ternaire Fe-W-C. Un tel diagramme demanderait certaines modifications pour tenir compte, entre autres, de l'influence du vanadium et du cobalt, le vanadium, en particulier, entraînant un déplacement des limites de phase vers la droite par suite de son affinité pour le carbone ; Il permet toutefois, en première approximation, de définir la séquence des différentes réactions de solidification. Le processus débute par la formation de dendrites de ferrite δ , au sein desquelles se trouvent en solution W, Cr et V et très peu de carbone (en teneur inférieure ou égale à 0,1 %), ce dernier étant rejeté au front de croissance des dendrites. Le refroidissement se poursuivant, la réaction péritectique a lieu : $\text{Liquide} + \text{Ferrite } \delta \rightarrow \text{Austénite}$. [9].

La ségrégation du carbone est moins prononcée au cours de cette phase de solidification en raison de la plus grande solubilité de cet élément dans l'austénite. Pendant le même temps, la ségrégation des éléments fertilisants, comme le tungstène et le vanadium, se poursuit, et le reste du liquide non consommé lors des réactions péritectique conduit en fin de solidification à la réaction eutectique suivante :

Liquide → Austénite + carbures.

La ferrite formée au début de la solidification se décompose ensuite en agrégats d'austénite et de carbures selon une réaction eutectoïde.

V-Diagramme d'équilibre fer carbone :

Le diagramme fer-carbone figure 6 décrit les différents états du mélange fer et carbone selon la proportion de fer et de carbone dans le mélange. Au-dessus de 2,11% de carbone on parle de fontes, en dessous de cette concentration on parle d'acier. Ce diagramme permet de visualiser la forme d'acier que l'on a selon la température et la teneur en carbone.

Il existe deux diagrammes fer-carbone, car il existe du carbone à l'état libre (graphite), et du carbone en combinaison chimique (cémentite). Il y a donc un diagramme fer-graphite (dit diagramme stable) et un diagramme fer-cémentite (dit diagramme métastable)

La détermination des phases et des constituants d'un acier à une température donnée est

Fournie par la lecture du diagramme. La structure du fer pur dépend de la température :

-En dessous de 721°C et au-dessus de 1394°C °C, le fer (fer α) a une structure cristalline cubique corps centré (structure cristalline à température ambiante). Il ne dissout pratiquement pas le carbone, il est doux, très malléable.

-Entre 723°C et 910°C jusqu'à 1394°C °C, le fer (fer γ) a une structure cristalline cubique à faces centrées. Il dissout facilement le carbone.

On distingue plusieurs types d'aciers selon le pourcentage de carbone qu'ils contiennent :

-Les aciers hypo eutectoïdes (de 0,008 à 0,8 % de carbone) qui sont les plus doux, ils sont composés de ferrite et de perlite ;

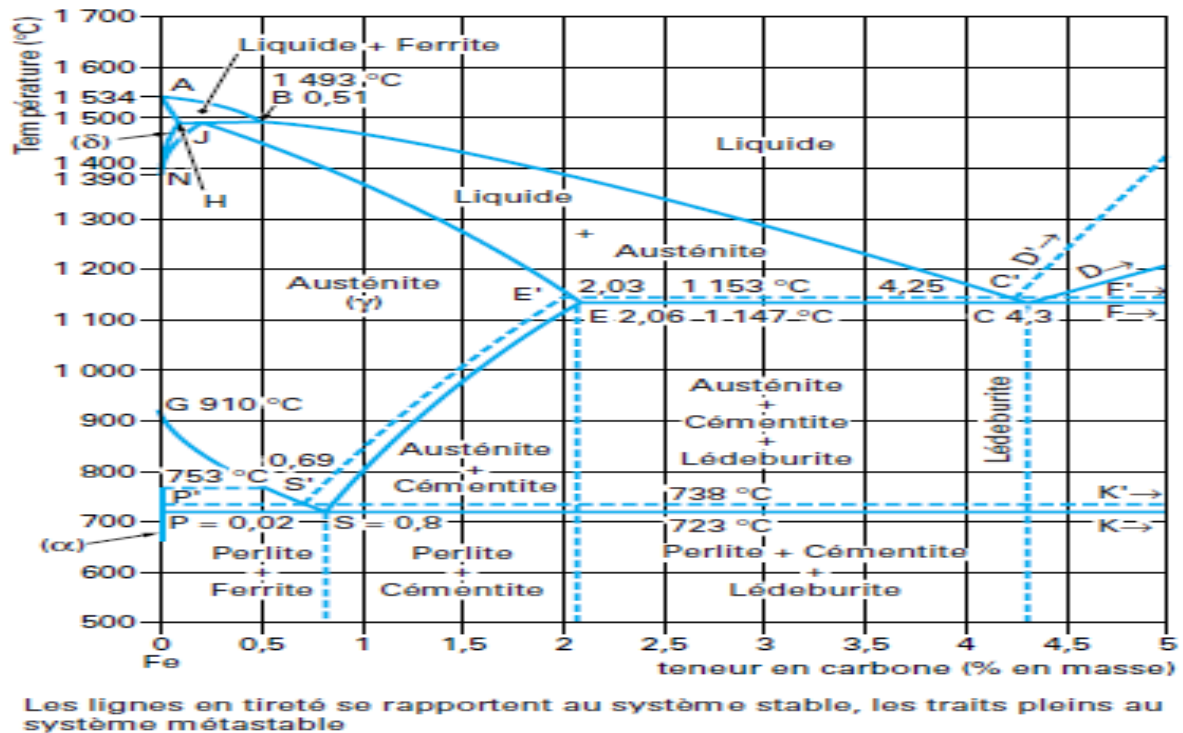
- les aciers eutectoïde (0,8% de carbone), ils sont composés de perlite (structure lamellaire)

- les aciers hyper eutectoïdes (de 0,8 à 2,11 % de carbone) qui sont les plus durs, ils sont composés de perlite et de cémentite.

On distingue les aciers selon leur structure cristallographique:

-Les aciers ferriques, qui ont une symétrie cristalline cubique centrée (fer α);

- Les Aciers austénitiques, qui ont une symétrie cristalline cubique à faces centrées (Fer γ ou austénite) ;
- les aciers martensitiques, qui contiennent des aiguilles de Carbures (martensite).[9]



FigureI.6: Diagramme binaire fer-carbone

VI-LES désignation de Z 160 acier pour travail à froid

Désignation EN: *X 160 CrMoV12 - AFNOR : Z160 CDV 12*

Composition sur produit en %

- Carbone 1,55
- Chrome 12,00
- Molybdène 0,70
- Vanadium 1,00

Propriétés physiques

- Densité: 7,7
- Module d'élasticité : 210 000 MPa
- Conductibilité thermique: 20 W/m/°C
- Coefficient moyen de dilatation en m/m°C :
 - entre 20°C et 100°C : $10,5 \times 10^{-6}$
 - entre 20°C et 300°C : $11,0 \times 10^{-6}$
 - entre 20°C et 500°C : $12,0 \times 10^{-6}$
- Résistance $\sigma_{\text{électrique}}$: 0,65 /m²

Forgeage : 1050-850°C refroidissement lent au four.

Recuit : 800-850°C refroidissements lents au four.

Dureté HB maxi: 250.

Stabilisation : 650-700°[6]

Le traitement thermique :

I -Définitions :

Le traitement thermique d'un matériau est un groupe de procédés industriels utilisés pour modifier les propriétés physiques, mécaniques et parfois chimiques de ce dernier. Ce traitement est utilisé lors de la fabrication des matériaux comme le verre, le bois, les aliments et surtout les métaux.

Le traitement thermique implique l'utilisation du chauffage et/ou du refroidissement, normalement à des températures extrêmes, pour obtenir le résultat souhaité, tel que la modification de la friabilité, de la dureté, de la ductilité, de la fragilité, de la plasticité, de l'élasticité ou de la résistance du matériau.

Les traitements thermiques jouent également un rôle important dans le domaine de la tribologie. [14]

II-Procédés des traitements thermiques :

Effectuer un traitement thermique sur une pièce, c'est faire subir à celle-ci une variation

De la température en fonction du temps.

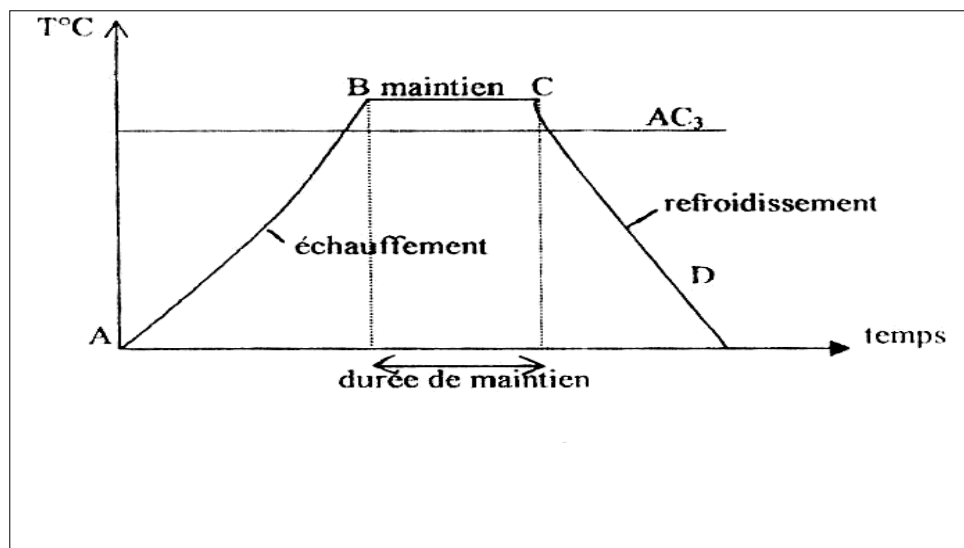


Figure II-1: (Le procédé de traitement thermique).

Don se diagramme elle représente le procédé et étape de la traitement thermique ,En voire don la parti (AB) l'échauffement et la température de transformation, et on aussi la durée de maintien si un température définie parti (BC) finalement en parti de refroidissement et don se parti on a 3 type de refroidissement :

-Très rapide (dans l'eau).

-Assez rapide (dans l'huile).

-Lente (dans le four, à l'air).

Et chaque type de refroidissement en voire un micro structure défieront.

III-Chauffage des pièces :

La première étape de chaque traitement thermique est le chauffage de la pièce à la température exigée.

III-1-Par transmission de la chaleur :

On distingue trois possibilités :

Par conductibilité : La pièce est chauffée dans un four ordinaire où elle est en contact qu'avec le sol du four, elle ne reçoit par conductibilité qu'une petite quantité de la chaleur dépensée.

Par convection : Dans ce cas, la pièce est chauffée par contact avec un fluide chaud (gaz ou liquide) qui se déplace et lèche la pièce en lui cédant une grande partie de la chaleur dépensée.

Par rayonnement : La chaleur absorbée par les parois et la voûte du four est rayonnée vers la pièce qui l'absorbe. C'est le cas où l'apport de chaleur est le plus important.

Dans la plupart des cas, le chauffage des pièces, est effectué simultanément par convection et rayonnement.

III-2-Par production de la chaleur dans la pièce :

C'est une possibilité de chauffer la pièce en créant dans cette dernière un flux de courant, soit par l'utilisation de la pièce comme conducteur dans un circuit électrique(chauffage par résistance) ou l'emplacement de la pièce dans un champ variable (chauffage par induction).

Cette méthode est utilisée surtout pour les pièces à sections petites et uniformes. On peut obtenir des vitesses de chauffage très élevées. Par exemple pour une pièce de section \emptyset **150mm**, la durée de chauffage pour atteindre $T = 1200^{\circ}\text{C}$ est de :

- 20 mn pour le chauffage par induction.
- 8 mn pour le chauffage par résistance.
- 2 à 3 heures pour le chauffage dans un four.

Cette méthode est rentable seulement pour des sections inférieures à 150 mm .

Quelque soit le procédé de chauffage utilisé, il existe toujours une différence de température dans les différentes parties de la pièce. Répartition de la chaleur non uniforme.

A. Durée de préchauffage : C'est le temps de début de chauffage jusqu'à ce que la température nominale soit atteinte à la surface de la pièce.

B. Durée de chauffage de pénétration ou d'égalisation : C'est le temps nécessaire pour atteindre la température nominale à la surface et au cœur de la pièce.

C. Durée de maintien : C'est le temps nécessaire pour maintenir la pièce à une température, et à partir de la température atteinte dans le cœur.

Les facteurs principaux, qui influent sur le chauffage de la pièce sont le diamètre (épaisseur), conductibilité, température du four, etc.

Pour les différents chauffages, on peut choisir les vitesses suivantes :

- Chauffage lent : 3 à $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$.
- Chauffage technique conventionnel (normal) : $50^{\circ}\text{C}/\text{s}$.
- Chauffage rapide : $> 50^{\circ}\text{C}/\text{s}$.

III-3- Refroidissement des pièces :

Le point important pour la détermination du régime de refroidissement de la pièce est celui de l'état de structure souhaitée à obtenir. Bien sûr, on cherche toujours à refroidir rapidement pour avoir une productivité élevée, mais on doit prendre en considération les dangers de fissuration et d'étirage des pièces. La vitesse de refroidissement nécessaire à l'obtention d'un état de structure est déterminée selon le diagramme TTT (Température, Transformation, Temps).

Le refroidissement s'effectue dans des bacs utilisant l'eau ou l'huile, dans les deux cas, le bain est maintenu à température constante. L'eau chaude se trouvant constamment remplacée par de l'eau froide arrivant par le bas du bac.[15]

IV-Les transformation de phase à l'état solide dans l'acier :

IV-1- Transformations isothermes :

Le diagramme d'équilibre déjà envisagé au chapitre précédent, indique la constitution normale de l'acier, constitution d'équilibre, pour les différentes températures.

L'expérience prouve que cette constitution n'est acquise que si la température varie assez lentement pour donner aux transformations le temps des 'effectuer.

Dans le cas contraire, non seulement les transformations pourront ne pas avoir lieu du tout ou contraire se faire incomplètement.

On obtient dans ces deux cas de nouveaux constituants que le diagramme d'équilibre ne peut indiquer, ils correspondent à des états hors d'équilibre ou états trempés .

Si un acier à structure austénitique est obtenu par chauffage à une température supérieure à A_{C3} , est sur fusionné à une température inférieure à A_1 , l'austénite acquiert un état métastable et subit des transformations. Pour décrire l'allure cinétique des transformations, on utilise le diagramme TTT (Température, Transformation, Temps). Figure (?)

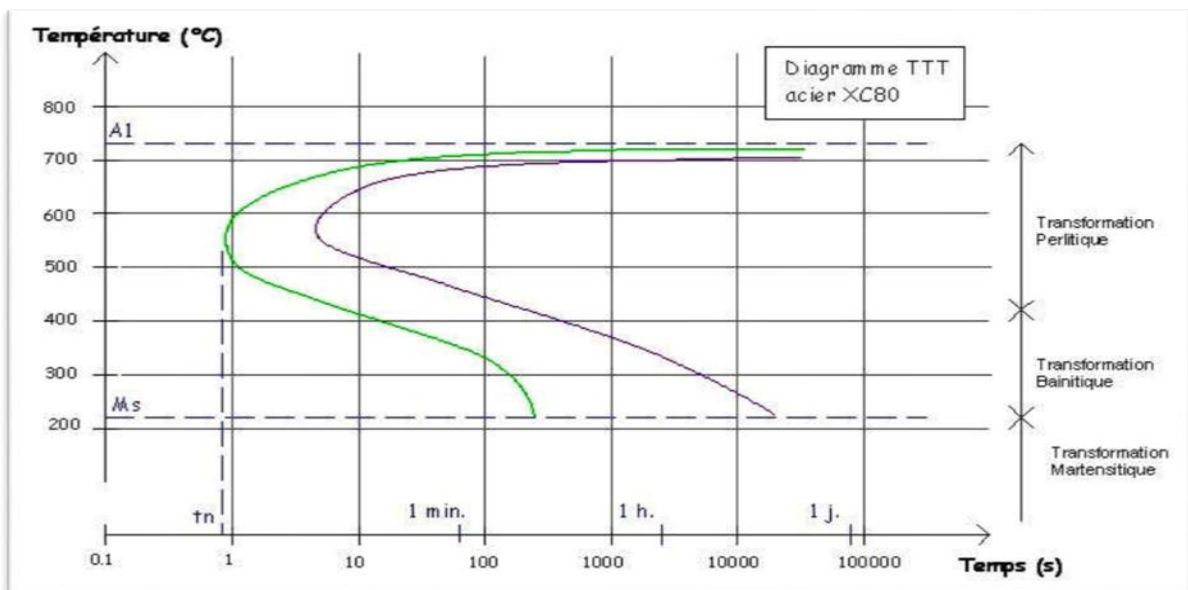


Figure II-2 : transformations. Pour décrire l'allure cinétique des transformations, on utilise le diagramme TTT.

Dans le diagramme TTT existe trois domaines de températures ou zones de transformation: Domaine perlitique (au dessus de 550°C), Domaine bain tique (intermédiaire) entre 550 et 200°C, Domaine martensitique au dessous de 200°C.

IV-2- Transformation perlitique :

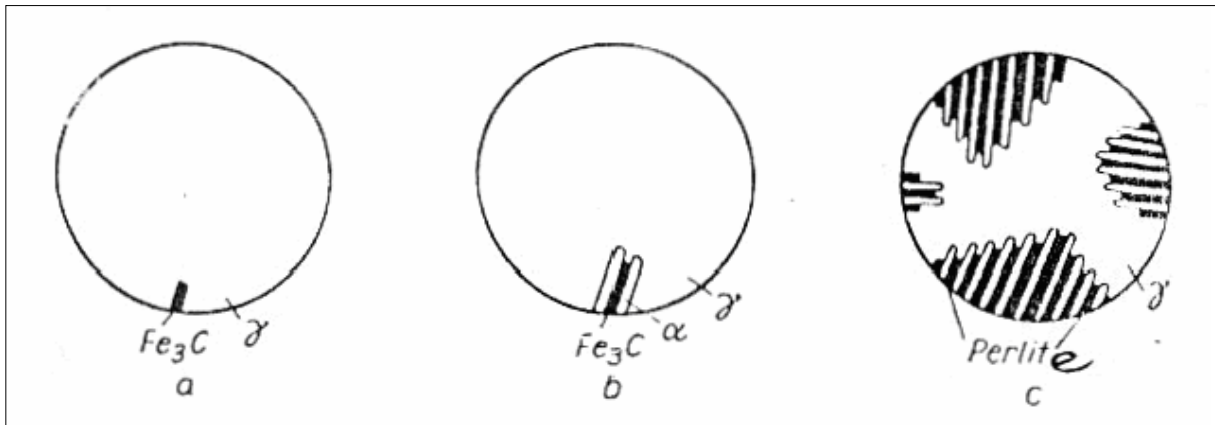


Figure II-3: transformation perlitique.

La transformation perlitique a le caractère de diffusion, à première étape, elle est caractérisée par l'apparition des germes de cémentite sur les joints des grains de l'austénite.

La deuxième étape montre le développement des germes de la cémentite tout en provoquant l'appauvrissement des places voisines en carbone et en se transformant en ferrite et enfin la troisième étape c'est la formation de la perlitite.

Une petite surfusion donne un petit nombre de germes de cémentite avec des lamelles épaisses, mais quand la vitesse est assez considérable, c'est à dire le degré de surfusion est élevé, dans ce cas le nombre de grains est plus grand et les lamelles de la perlitite sont plus fines c'est à dire on a le constituant S'orbite ou Troostite.

La perlitite, la sorbite et la troostite se distinguent l'une de l'autre par l'épaisseur des lamelles.

Dans la perlitite, leur dureté est aussi différente :

- Perlite : HB 200.
- Sorbite : HB 300.
- Troostite : HB 400.

IV-3-Transformation intermédiaire (bainitique) :

Comme pour la transformation perlitique, l'austénite se décompose en deux phases par diffusion, mais cette diffusion ne se produit pas jusqu'à la fin et la phase de la ferrite, dans ce cas, elle représente une solution solide de carbone dans le fer α , mais elle est sursaturée lors de la transformation bainitique. On peut arriver au fait qu'il reste une quantité de l'austénite résiduelle, qui peut se transformer en martensite lors d'un refroidissement ultérieur.

IV-4-Transformation martensitique :

C'est au dessous d'une température d'environ 180°C que se forme la cémentite à partir de l'austénite surfusionnée. Lorsque la température de l'austénite surfusionnée diminue jusqu'à environ T 180°C, ou même plus bas, le processus de diffusion est complètement arrêté et une transformation sans diffusion se produit, elle est appelée transformation martensitique.

La martensite est une solution solide de carbone dans le fer α mais très saturée, son réseau cristallin est très distorsé (déformé).

La transformation martensitique se produit sans déplacement des atomes de carbone, seulement les atomes de fer qui se déplacent à une distance plus petite que la distance interatomiques, cette transformation se produit très vite.

Les points de début et fin de transformation dépendent du pourcentage de carbone, avec l'augmentation du % C, les points M_f et M_s diminuent.

La martensite a une structure très dure, le phénomène de durcissement a un caractère physico-chimique avec le réseau cristallin du fer α très déformé par la présence des atomes de carbone ce qui explique son durcissement.

Pour des refroidissements continus, les diagrammes TTT ne correspondent plus à cette réalité, mais il existe d'autres types de diagramme appelés diagramme de surfusion.

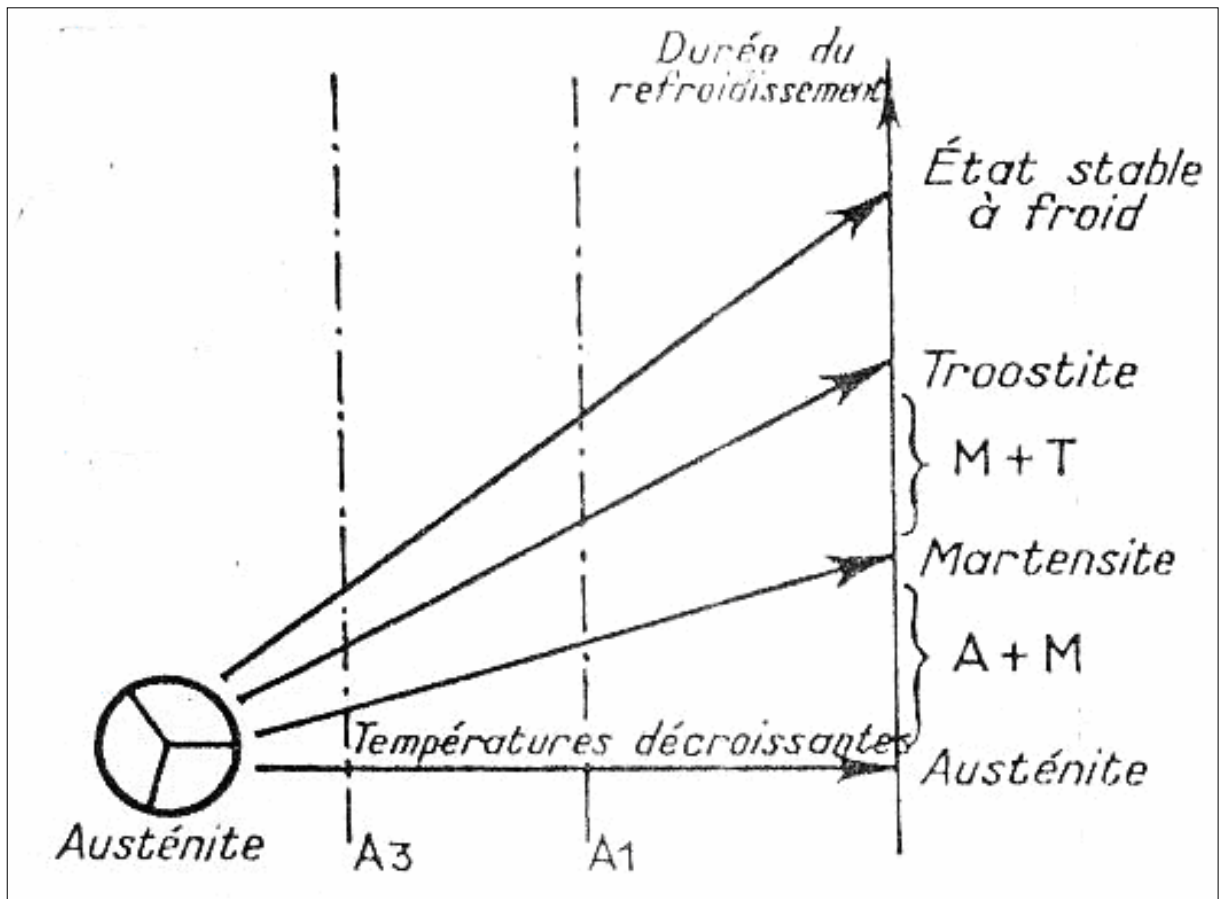


Figure II-4 : la vitesse de refroidissement sur les différentes transformations de l'austénite.

La figure nous donne une idée de l'influence de la vitesse de refroidissement sur les différentes transformations de l'austénite.

V- Le but du traitement thermique

Les traitements thermiques sont constitués par un certain nombre d'opérations combinées de chauffage et de refroidissement ayant pour but.

D'améliorer les caractéristiques des matériaux et rendre ceux-ci plus favorables à un emploi donné, à partir des modifications suivantes :

- Augmentation de la résistance à la rupture et de la limite élastique R_m , R_e , $A\%$ en donnant une meilleure tenue de l'élément.
- Augmentation de la dureté, permettant à des pièces de mieux résister à l'usure ou aux chocs.

-De régénérer un métal qui présente un grain grossier (affiner les grains, homogénéiser la structure) cas des matériaux ayant subi le forgeage.

-De supprimer les tensions internes (écrouissage) des matériaux avant subi 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. Les traitements thermiques sont appliqués surtout aux aciers XC et aciers alliés ZR alliages non ferreux.

En général les traitements thermiques ne changent pas la composition chimique de l'alliage. [10].

VI. Traitement thermique acier z160k110 :

Trempe : préchauffage

Chauffage à (1020-1040°C)

Refroidissement(gaz, huile, bain de sels).

VI-1- Recherche d'une haute dureté (env. 61HRC) :

- Chauffage lent (avec homogénéisation à 750°C) pour une austénitisation 980/1000°C
- Refroidissement huile ou air
- Revenu basse température (env. 200°C)

VI-2- Recherche d'une haute ténacité (dureté env. 53/56 HRC) :

- Chauffage lent (avec homogénéisation à 750°C) pour une austénitisation 1030/1040°C
- Refroidissement huile ou air
- Effectuer 2 revenus à température voisine de 520 °C (ajuster la température en fonction de la dureté à obtenir).

IV-3-Application :

Acier à outils allié pour travail à froid, indéformable, à 12% de chrome allié au molybdène et au vanadium.

Très bonne résistance à l'usure et ténacité élevée, apte à la trempe sous vide, nitruration possible sous atmosphère amoniacale à 525 °C.

Bonne stabilité dimensionnelle après traitement.

Outils de découpage et d'emboutissage, filières d'étirage, matrices d'extrusion, fraises à bois, cylindres de laminoirs... [POLARE]

VI-4-Schéma du traitement thermique acier z160 k110:

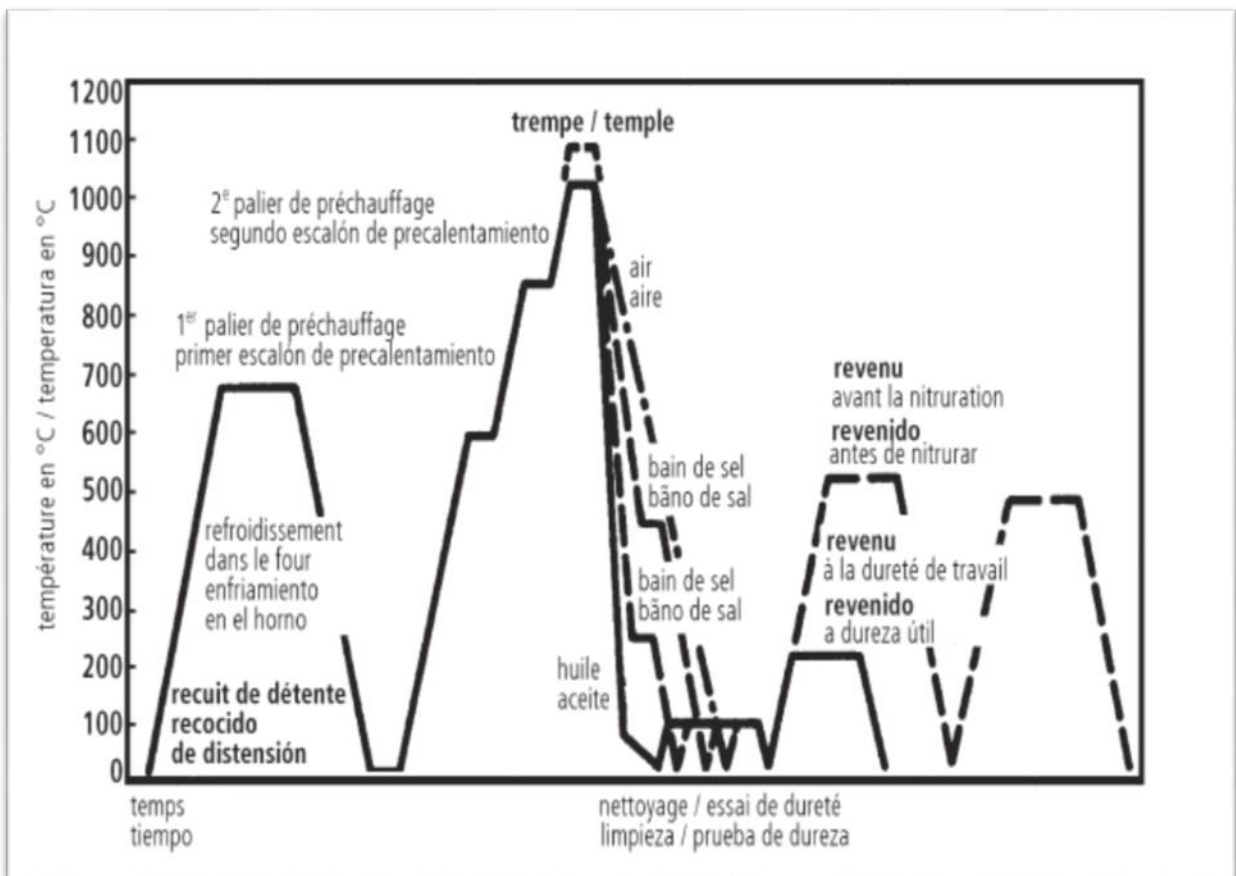


Figure II-5 : Schéma du traitement thermique acier z160 k110.

VII-Les types de traitement thermique :

VII-1- Trempe

Après chauffage et maintien, les pièces sont soumises à un refroidissement selon le mode approprié, dont la vitesse est réglée par le milieu de trempe utilisé, refroidissement qui peut se faire en air calme, air soufflé, dans l'huile, en bains de sels, etc., et suivant les alliages des pièces et les caractéristiques recherchées.

Pour obtenir une trempe efficace, on est amené à chauffer le métal à une température assez élevée jusqu'au domaine austénitique. [12]

a- Les types de trempe :

-Trempe martensitique

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

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

- Trempe bainitique

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

- Trempe d'aciers austénitiques ou hypertrempe

Sur certains aciers austénitiques, cette trempe crée une structure d'austénite homogène à température ambiante.

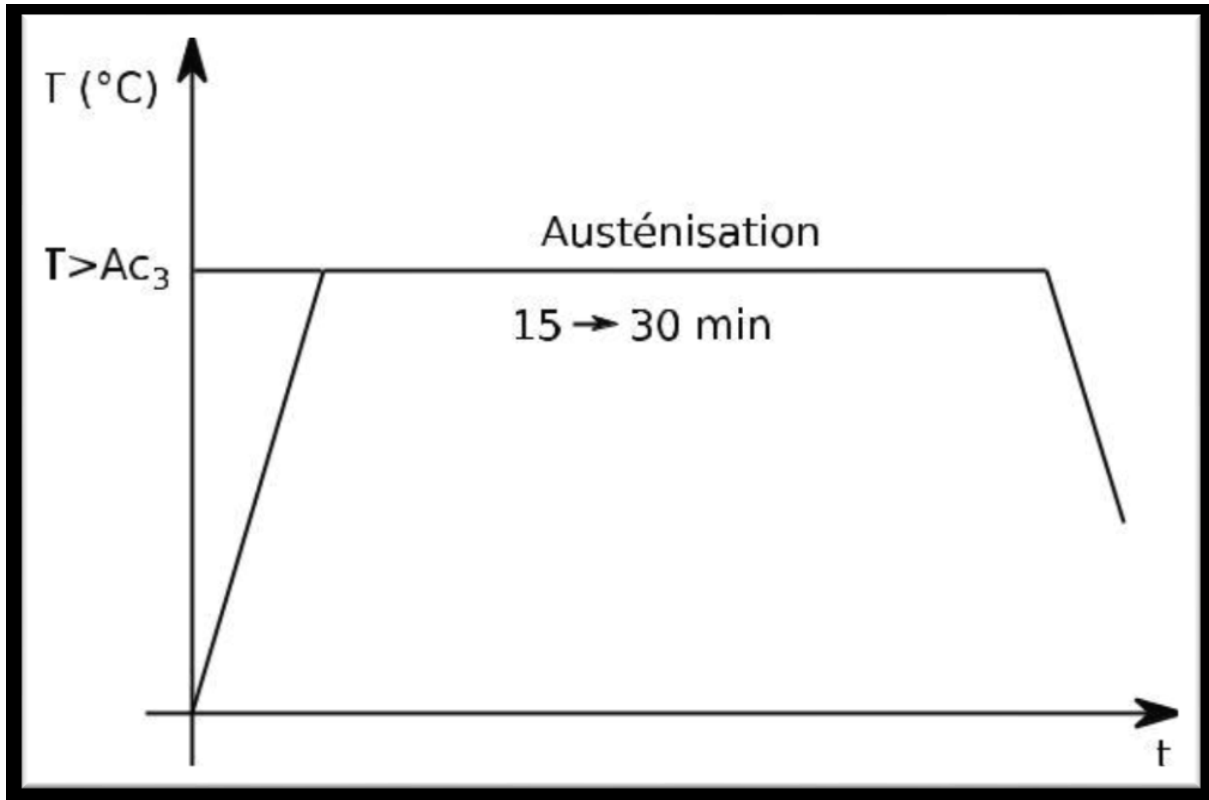
Elle provoque l'adoucissement du matériau (comme certains aciers inox). Elle se produit si la température de trempe est trop élevée.

b- 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).[14]



FigureII-6 : Le cycle de la trempe.

Don le diagramme on a vu l'étape de trempe et il a eu l'austénisation $T > A_{c3}$ puis un refroidissement avec un temps de 15 à 30 min.

C .Trempe acier z160 k110 :

1020 – 1040°C

Outils de forme compliquée : trempe à l'air, outils de forme simple : trempe à l'air comprimé, à l'huile, en bain de sel de 220 à 250°C ou 500 à 550°C, gaz Temps de maintien à la température après réchauffage à cœur : 15 – 30 minutes.

Dureté à atteindre : 58 – 61 HRC.[polaire].

VII-2- Le Revenu

A. Définition De revenu :

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

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

-Revenu à basse température : Le revenu à basse température s'effectue avec un chauffage entre 200°C et 300°C.

-Revenu à température intermédiaire : Le revenu à température intermédiaire se réalise entre 300 et 500°C.

-Revenu à haute température : Le revenu à haute température se fait entre 500 et 700°C.

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

La trempe et le revenu des aciers n'ont pas seulement pour but de régler la dureté mais visent plutôt à établir le meilleur compromis entre l'usinabilité, la résistance à l'usure et les caractéristiques mécaniques (résistance, résilience, plasticité).[16]

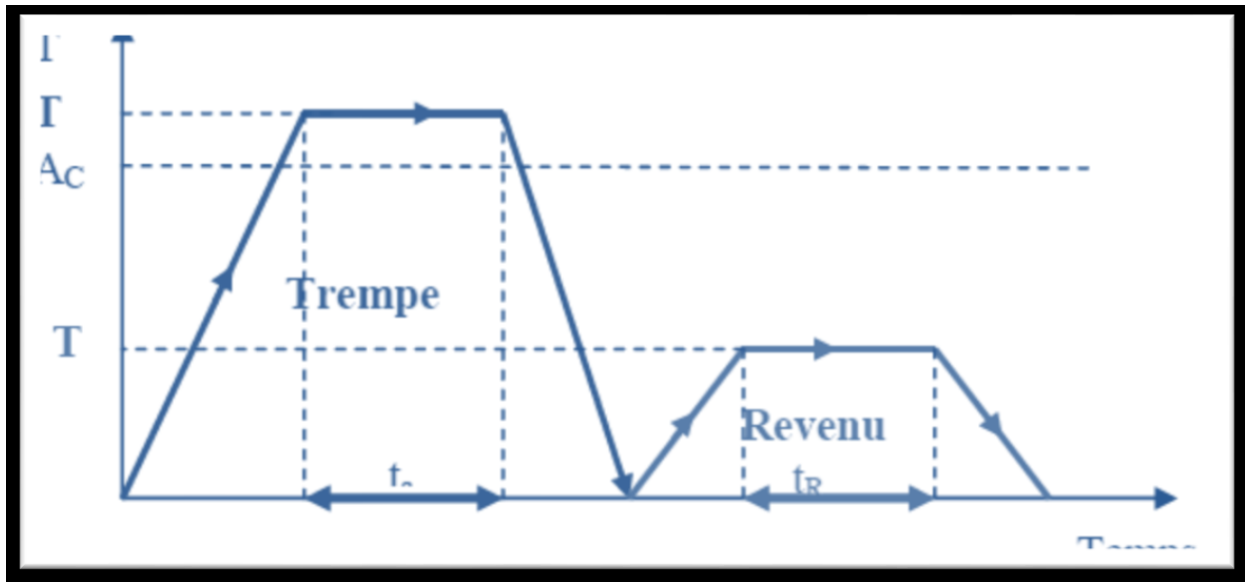


Figure II-7 Cycle complet (trempe, revenu).

Ce diagramme il reprisent la cycle de trempe donne la première parti (tT), chauffage a température (T) et refroidir jusqu'à la température ambiante et donne la parti (tR), réchauffage à une température $T_R < A_c$, maintien de durée en tR à TR , et on le refroidir jusqu'à température ambiante.

B. Différents types de revenu :

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

-Revenu de relaxation ou de détente :

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

-Revenu de structure ou classique :

Dans ce cas, le revenu s'effectue entre 500°C et A_{c1} . On observe une augmentation des caractéristiques K, A et Z et une diminution plus importante de H, Rm et Re.

Ce type de revenu permet d'établir un compromis entre les caractéristiques mécaniques suivant l'emploi des aciers.

-Revenu de durcissement :

Des revenus effectués entre 450 et 600°C sur des aciers alliés peuvent provoquer des durcissements appelés durcissements secondaires (cas des aciers à outils au chrome ou des aciers rapides). Il y a d'abord précipitation des carbures complexes maintenu en solution dans un reste d'austénite résiduelle puis une déstabilisation de cette dernière qui se transforme en martensite au moment du refroidissement. Ces deux transformations successives vont donc nécessiter second revenu pour éviter que la martensite secondaire ne provoque pas fragilité excessive. (Dans certains aciers rapides, trois revenus successifs peuvent être nécessaires). [13].

C .Revenu Acier z160k110 :

-Chauffage Int à la température de revenu immédiatement après la trempe / temps de séjour au four 1 heure par 20mm d'épaisseur, mais au moins 2 heures/ refroidissement à l'air.

-Vous trouvez les valeurs indicatives de la dureté à atteindre après le revenu dans le diagramme de revenu.

-Dans certains cas nous recommandons de réduire la température de revenu et de prolonger la durée de séjour au four.

-Il est aussi possible d'effectuer un traitement thermique spécial décrit dans le paragraphe "Nitruration" qui est recommandé pour certaines applications, p.e. si une résistance au revenu élevée est exigée. [polair].

D.Courbe de revenu :

Température de trempe : _____1030°C

----- 1070°C

Éprouvette : carré 20 mm

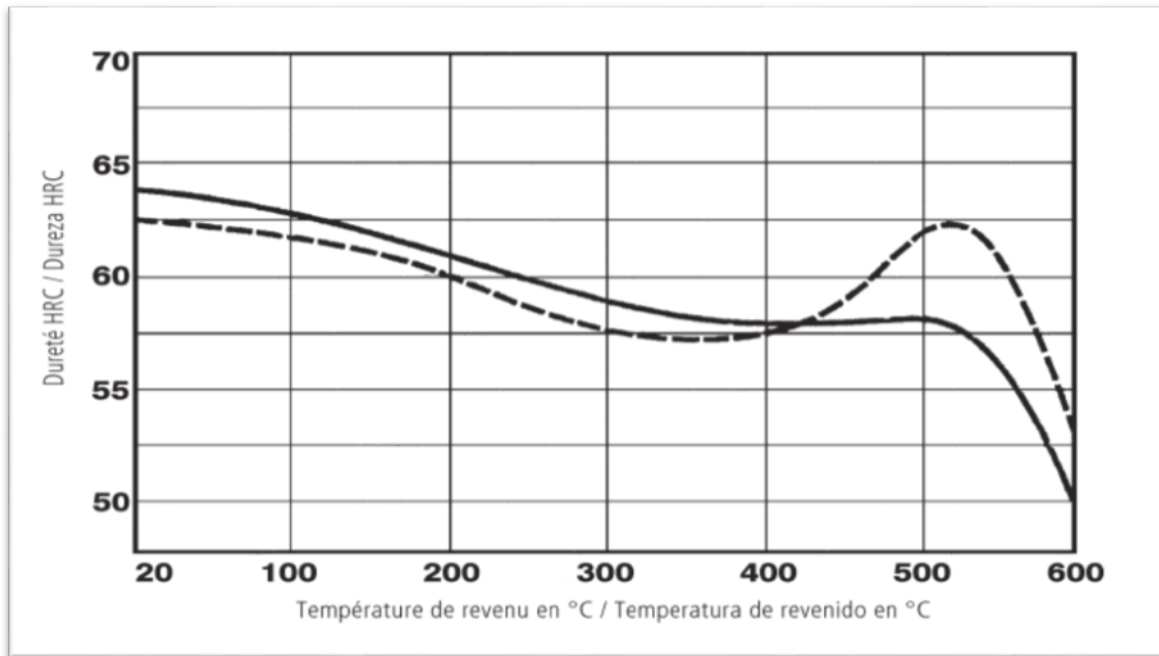


Figure II-8: (courbe de revenu acier z160).[polaire].

Donne cette courbe en voir la température de revenu en fonction de la dureté HRC de l'acier z160 k 110.

E. Traitement de surface Nitruration :

Ce traitement donne au matériau de base une dureté de 60 HRC environ. Si une très grande précision dimensionnelle est exigée, la température de revenu doit au moins être égale à celle de la nitruration qui suit.

Après la nitruration nous recommandons un traitement de détente à env. 300°C.

Si une nitruration en bain de sel est envisagée, nous recommandons une plus haute température de trempe de 1060 à 1080°C et un revenu subséquent en deux cycles.

*** 1er revenu à 520°C**

*** 2e revenu à 30-50°C** au-dessous de la température du premier revenu.

Ensuite la nitruration en bain (p.e. traitement Tenifer) est effectuée à 570°C.

Temps de maintien pour une profondeur de nitruration de 0,03 mm : 30 minutes.

VII-3-Le recuit

a. Définition De recuit :

Le recuit un procédé correspondant à un cycle de chauffage. Celui-ci consiste en une étape de montée graduelle en température suivie d'un refroidissement contrôlé. Cette procédure, courante en sciences des matériaux, permet de modifier les caractéristiques physiques du métal ou du matériau étudié. [11]

b. Types de recuit peuvent être envisagés :

- Recuit complet à haute température, supérieure à 900°C.
- Recuit à température moyenne, supérieure à la température de transformation $\alpha \rightarrow \gamma$.
- Recuit à basse température, au-dessous de l'intervalle de transformation $\alpha \rightarrow \gamma$.

c. La vitesse de refroidissement :

- Refroidissement rapide, à l'air.
- Refroidissement lent, dans le four. [12]

d. Exemples d'utilisation du recuit :

- adaptation de la taille des grains du métal pour des performances optimales (après une coulée) ;
- élimination de contraintes résiduelles (déformation plastique) ;
- baisse de la dureté en vue d'un usinage ;

e. Le but de recuit :

Le recuit d'une pièce métallique ou d'un matériau est un procédé correspondant à un cycle de chauffage. Celui-ci consiste en une étape de montée graduelle en température suivie d'un refroidissement contrôlé.

Cette procédure, courante en sciences des matériaux, permet de modifier les caractéristiques physiques du métal ou du matériau étudié. Cette action est particulièrement employée pour faciliter la relaxation des contraintes pouvant s'accumuler au cœur de la matière, sous l'effet de contraintes mécaniques ou thermiques, intervenant dans les étapes de synthèse et de mise en forme des matériaux. [13].

f. Recuit acier z160 k110 :

800 – 850°C Refroidissement lent et contrôlé au four avec une vitesse de 10 à 20°C, puis refroidissement à l'air.

Dureté après le recuit : 250 HB maxi.

G. Recuit de détente acier z160 k110 :

650 – 700°C

Après réchauffage à cœur, maintien à la température pendant 1-2 heures sous atmosphère neutre / refroidissement lent au four. [16]

I-Acier z160 cdv12

Les nouvelles normalisation :

DIN : X 160 Cr Mo V 12 (W. Nr 1.2379)

NF EN 10027-1/11-92 : X 160 Cr Mo V 12

Composition chimique en % :

Chrome	carbone	molybdène	vanadium
12	1.55	0.70	0.9

Tableau I-3: composition chimique de l'acier z160

II-1-Propriétés :

Densité : **7,85.**

Module d'élasticité : **207 000 Mpa.**

Conductibilité thermique à 20°C : **16,5 Wm°k-1.**

Coefficient de dilatation thermique par °C de +20 à 200°C : **11,2 x 10-6.**

III. Diagramme de transformation en refroidissement continu / Diagramme CCT :

Température d'austénitisation : **1080°C** Durée de maintien : **30 minutes**

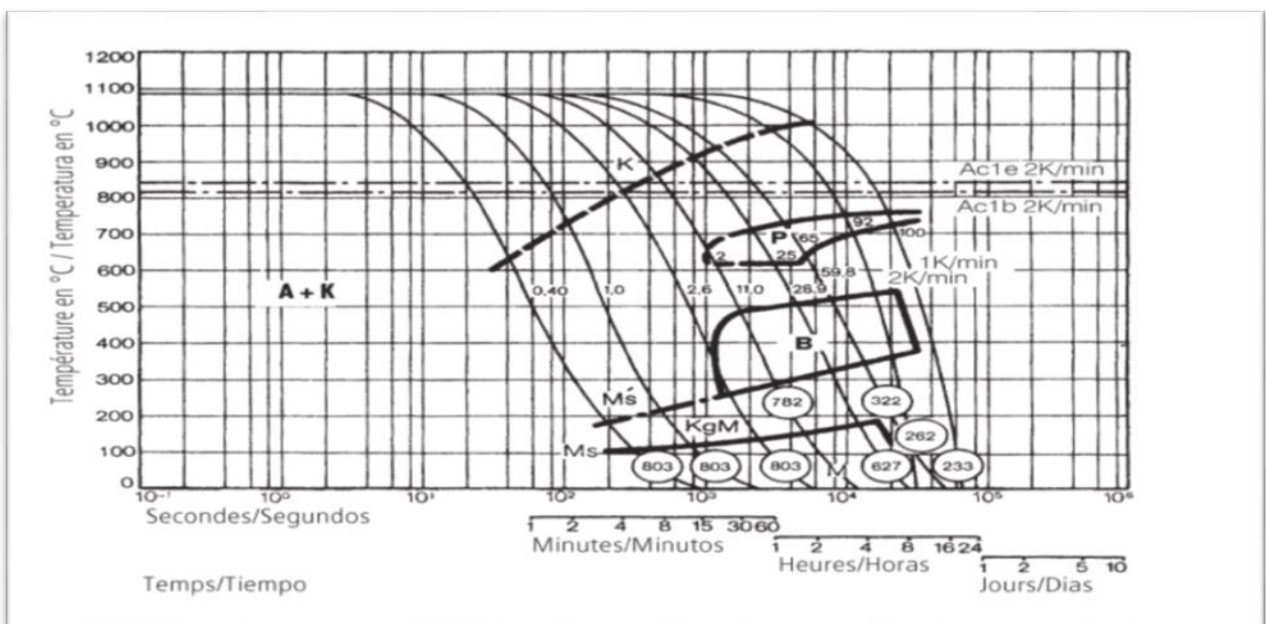


Figure III-1 : Diagramme de transformation en refroidissement continu / Diagramme CCT[12].

Dureté, en HV

2 . . . 100 Constituants, en % 0,40 . . . 59,8 Paramètre de refroidissement, c.- à -d.

durée de refroidissement de 800 à 500°C en s x 10-22K/min...1K/min Vitesse de refroidissement en K/min de 800 à 500°C Ms-Ms'...Zone de formation de la martensite aux joints de grains KgM...Martensite aux joints de grain [12].

Introduction :

Dans cette partie, nous faisons le point sur les différentes techniques expérimentales utilisées lors de la réalisation de ce travail. L'interprétation exacte des différents résultats obtenus lors de cette étude repose sur les mesures correctes et justes provenant des instruments techniques utilisés et des limites technologiques de chaque équipement.

L'objectifs du présent travail est d'étudier l'effet de traitement thermique trempe revenue sur l'acier z160 tels que : changement de dureté, changement de microstructure.

1 , Problématique

1-1 Acier utilisé

Le matériau est un acier a outil pour travail à froid de différentes nuances : AFNOR : Z160CDV12 ou Z155CDV12, NFA 35590 12/92 : X160CrMoV12, AISI : D2, DIN : X155CrVMo 12-1, Wnr : 1.2379 dont la composition chimique est consignée dans le tableau 1, et sa dureté initiale est de 250 HB Max.

Tableau 1 : composition chimique

Eléments	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Ni	W
Teneur en %	1,55	0,30	0,30	11,30	0,75	0,75	0,2	0,02

Tableau 1 : composition chimique de acier z160

1.2 Préparation des échantillons :

Nos échantillons sont découpés sous forme cubique de 14mm de diamètre et de 14mm d'épaisseur. Nos échantillons ont été polis sur du papier abrasif de granulométrie différente de plus en plus fine (de désignation : 240 ; 280 ; 400 ; 600 ; 800 ; 1200) âpre un polissage avec l'alumine, pour la finition.



Figure 1- échantillon découpes

1-3 Polissage :

C'est une opération mécanique qui permet d'avoir les états de surface semblable à celui d'un miroir. Ce polissage s'effectue en plusieurs étapes avec des disques en papiers abrasifs de différentes granulométrie des grains abrasif en carbure de silicium (de plus gros au plus fin) qui tourne avec une grande vitesse, cette opération se fait sous aspersion d'eau pour éviter l'échauffement de l'échantillon. Le polissage fin terminé de finition avec alumine qui joue le rôle d'une pate diamanter .

La procédure commence tout d'abord par polir la surface qu'on veut observer par des papier abrasive 200 jusqu'a 1200 et la rendre parfaitement plane que possible.. On ne cesse d'utiliser l'un d'eux que lorsque les stries provenant du papier précédent ont disparu. La pièce est lavée de façon à ne laisser aucune trace. Il faut obtenir une surface polie analogue à celui d'un miroir. Pour cela on utilise des tourets commandant des feutres. Ces feutres sont recouverts d'un abrasif très fin constitué par de l'alumine Al_2O_3 en suspension dans l'eau.



Figure 2- polisseuse a deux disque



Figure 3-plisseuse de finition

2- Traitements thermiques :

Les traitements thermiques ont été réalisés au laboratoire de sciences des matériaux du département de génie mécanique. Techniquement, un traitement thermique est défini par la variation de la température du métal en fonction du temps. D'une façon générale, les traitements thermiques ne modifient pas la composition Chimique de l'alliage, mais ils permettent de modifier (en général améliorer) les caractéristiques suivantes :

- Résistance à la corrosion.
- Résistances mécaniques, telles que la dureté (H), la résistance à la traction (R_m), la résilience (K) et l'élasticité A%.
- Résistance à l'usure.

-2-1 Cycle d'un traitement thermique :

Généralement, un traitement thermique comprend trois étapes

- Un chauffage une température dépendant du type de traitement voulu.
- Maintien isotherme cette température de traitement.
- Un refroidissement dans un milieu préalablement défini.

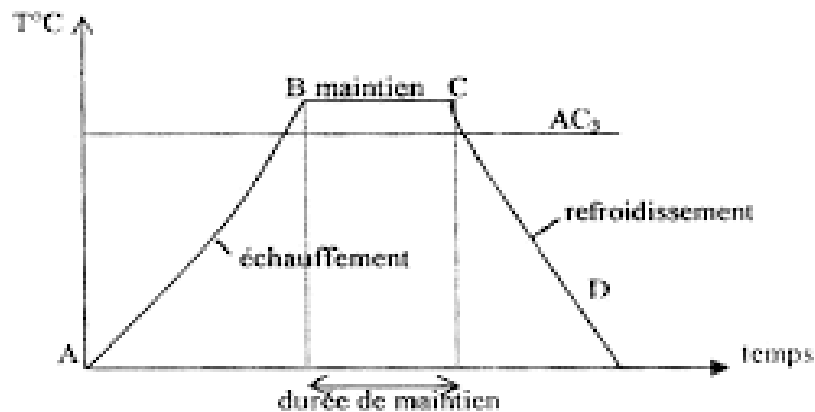


Figure 4- Cycle de traitement thermique [17]

2-2- Traitements thermiques appliqués :

2-2-2- La trempe

Traitement de trempe est effectué à une température supérieure à AC₃ de 800 C° (diagramme TRC). Nous avons choisi 1030°C comme température d'austénitisation et 42min comme temps de préchauffage , une durée d'une 30min comme temps de maintien et l'huile comme milieu de trempe avec agitation . Il est connu que la trempe est utilisée pour augmenter la dureté, la résistance à la rupture mais malheureusement elle diminue la résilience et l'allongement.

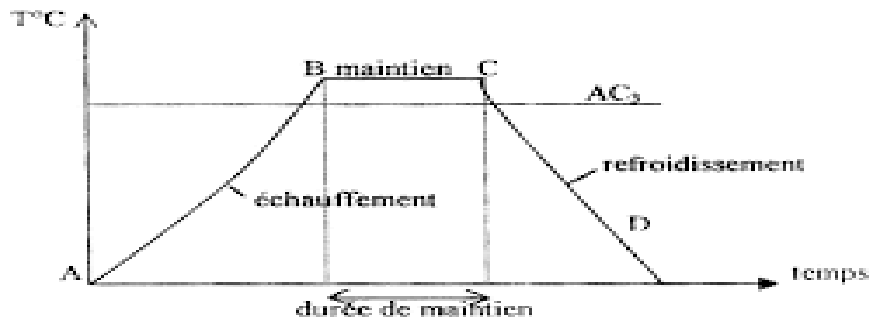


Figure 5- présente cycle thermique de la trempe [18]

II-2-2-3 Four detrempe

Pour les traitements thermiques de trempe nous avons utilisé le four a moufle nabertherm modèle LV5/11/B180.

un système spécial d'arrivée et d'évacuation l'air fait en sorte que l'air soit renouvelé plus 6 fois par minute. L'air entrant est préchauffé d'une manière qui garantit une bonne répartition de la température. chauffage par deux cotés grace a des plaques chauffantes en céramique.

plaques chauffage céramique avec résistances intégrée, protégées contre les projections et les échappements gazeux , faciles a changer . Module fibreux moulé sous vidualité supérieure et d'une résistance élevée . Carcasse en inox a la surface structurée. Caecasse a double paroi pour des températures extérieures basses et une grand stabilité . Chauffage silencieux fonctionnant avec des relais statiques . Air renouvelé pluq 6 fois par minute.

Au choix avec porte a battant (L) utilisable comme support ou sans supplément avec porte guillotine (LT), la partie chauétant la plus éloignée l'opérateur.

Caractéristique techniques : 230V-2,4KW.

Température nominale : 1100°C.

Volume : 5 litres

poids : 35 kg

Démentation externe (P)x(H)x(L):47x85x44cm

Démentions interne (P)x(H)x(L): 17x13x20 cm [19]



Figure -6 : Four utiliser en traitement thermique

II-2-2-4 Le revenu :

Le revenu se pratique après le traitement de trempe, son rôle essentiel de faire réduire les contraintes qui ont été faites par la trempe, diminuer la dureté et augmenter la résistance au choc. Nous avons chauffé notre matériau à des températures de 550 C°, inférieure à celle d'austénitisation.

Le temps de maintien est d'une demi-heure et un refroidissement lent.

Dans notre cas on a fait deux revenus.

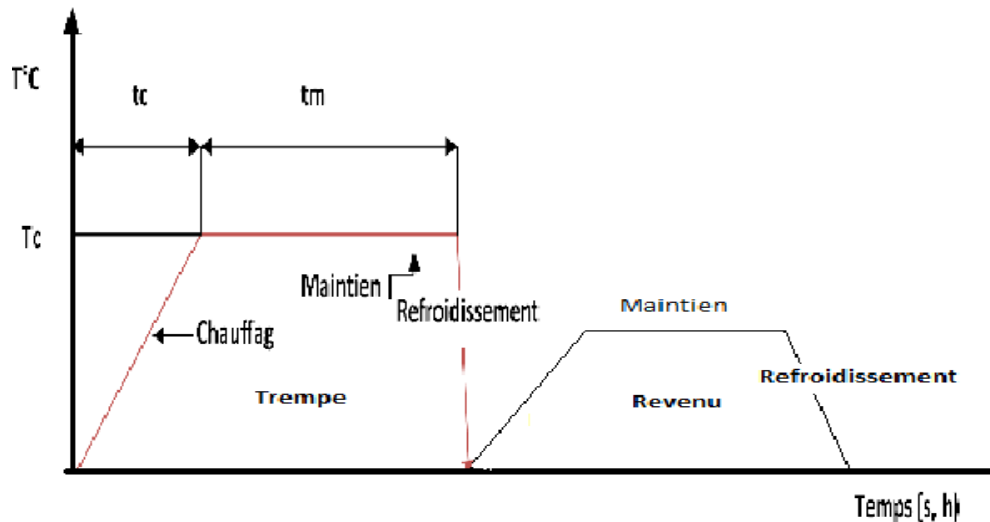


Figure -7: Cycle thermique de revenu [20]

III-mesure des dureté :

La dureté peut être définie comme une mesure de la résistance à la déformation plastique localisée. Les méthodes de mesure de la dureté sont basées sur la pénétration forcée d'un indenteur à la surface d'un matériau. Une valeur de dureté est déterminée par la mesure de la dimension ou de la profondeur de l'empreinte faite par l'indenteur soumis à des charges et des vitesses d'application contrôlées.

Machine de dureté utiliser :

la machine utiliser pour nos teste et de model NEMESIS 9100 (Holland)

TESTEUR DE DURETÉ UNIVERSEL

Les systèmes de test de dureté universelle de la série NEMESIS 9100 offrent des performances exceptionnelles et sont conçus avec des améliorations qui offrent une précision et une fiabilité inégalées, une ergonomie améliorée et une expérience globale améliorée et agréable pour l'opérateur.

Le logiciel de contrôle et de flux de travail du testeur IMPRESSIONS™ fait partie intégrante du système de test. Diminution du temps de configuration et augmentation de l'efficacité des tests grâce à l'utilisation de modèles de test programmables et d'applications logicielles conçues spécifiquement, développées à la demande d'utilisateurs exigeants.

Les instruments d'essai de dureté NEMESIS 9100 sont couramment utilisés pour tester les métaux et les plastiques, dans l'industrie aérospatiale et automobile, les laboratoires pour

l'évaluation d'échantillons ou pour effectuer des tâches d'essai courantes mais polyvalentes.[21]

Echelles : Rockwell, Rockwell superficiel, Brinell, Vickers, Knoop

Forces d'essai : 200 gf – 3 000 kgf (cellule de charge multiple, boucle fermée)[21]

Appareil photo : 18 mégapixels, système de caméra Full HD, avec zoom et mise au point automatique[21]

Caméra d'aperçu : caméra d'aperçu de scène à zoom optique Full HD [21]

Objectifs : 0,7X, 2,5X, 5X, 10X, 20X [21]

Tourelle à 8 positions : 3 pénétrateurs, 3 objectifs, laser de classe 2 pour le positionnement et caméra de vue d'ensemble intégrée [21]

Éclairage : LED d'alimentation [21]

Contrôle : contrôleur i7 entièrement intégré, fonctionnant sous Windows 10, écran tactile industriel de 15 pouces, logiciel de flux de travail avancé IMPRESSIONS™, comprend la mesure automatique, le contrôle de la scène et le configurateur de modèle, le clavier et la souris [21]



Figure 08: machine de dureté nemesis 9100

III-1 Dureté Vickers HV

Processus de pénétration pour contrôler la dureté .Un diamant en forme de pyramide est appuyé dans un essai avec une force précise. La dureté est calculée par la diagonale de la pression - mesurée avec la libération de l'essai -. Selon la force d'essai on distingue la plage de charge faible et de micro dureté. Le processus Vickers est utilisé avec des matériaux très durs, pour des petits essais, durs et légers, et pour des surfaces tièdes.

Calcul :

L'empreinte a la forme d'un carré. On mesure donc les deux diagonales d1 et d2 de ce carré à l'aide d'un appareil optique. On obtient la valeur d en effectuant la moyenne de d1 et d2.1.

C'est d qui sera utilisé pour le calcul de la dureté.

Calcul :

$$HV = \frac{2F \cdot \sin\left(\frac{136^\circ}{2}\right)}{9,80665 \cdot d^2} \dots\dots\dots [22]$$

$$HV = \text{Dureté Vickers [kg}_f \text{ mm}^{-2}\text{]}\dots\dots\dots [22]$$

$$F = \text{Force appliquée [N]}\dots\dots\dots [22]$$

d = Moyenne des diagonales de l'empreinte [mm]..... [22]

9,80665 : facteur de conversion entre newton et kilogramme-force..... [22]

Paramètre de teste :

La charge : 10N

Le temps d'application de la charge : 30S

Ce temps de maintien répond au norme ISO

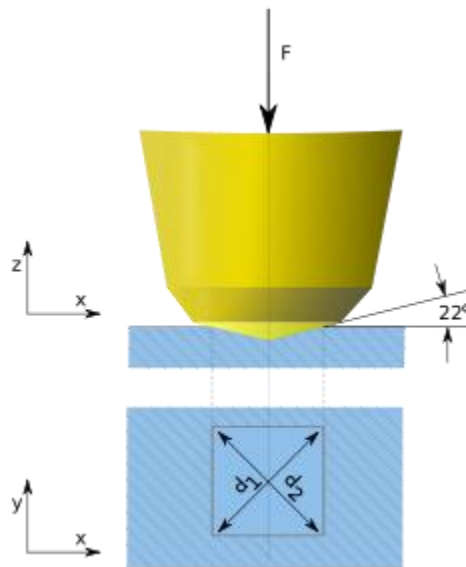


Figure 9 : Principe de la dureté vickers [22]

III-2 Dureté Rockwell

La dureté Rockwell détermine la valeur de dureté au moyen de la profondeur de pénétration d'un corps d'épreuve. Pour les variantes C et A (pour des matériaux durs ou très durs) et N (pour les essais minces) la bille en diamant entre dans le test d'une manière définitive. Pour les variantes B et F (pour les matériaux mi-durs ou mou) ou T (pour les essais minces) on utilise une bille en acier. Le corps d'épreuve aura un support plus sûr pendant la mesure avec charge préalable. La charge d'essai varie en fonction de la variante. Les abréviations pour les processus Rockwell sont: HRC, HRA, HRB, HRF, HR-15N, HR15T, HR30N, HR30T, HR45N, HR45T. La valeur de dureté est placée devant l'abréviation, par exemple, 45 HRC, 76 HR45N. DIN 50103.[23]

Échelle B, E et F

HRB=130-r

Échelle C

HRC=100-r

1er Étape de test

Le pénétrateur est tout d'abord enfoncé dans l'échantillon avec la pré-force (aussi appelée pré-charge) jusqu'à la profondeur de pénétration h_0 . h_0 définit le niveau référence (base) pour la mesure de la profondeur de pénétration rémanente (h) qui suivra.

2eme Étape de test

Ensuite, la force d'essai additionnelle est appliquée pour un temps de maintien défini dans la norme concernée (plusieurs secondes), le pénétrateur pénétrant dans l'échantillon jusqu'à la profondeur de pénétration maximale h_1 . La somme de la pré-force et de la force d'essai additionnelle donne la force totale du test (aussi appelée force totale ou charge principale).

3eme Étape de test

Après le temps de maintien, la force d'essai est retirée, le pénétrateur revient à sa position initiale de la part élastique de la profondeur de pénétration par rapport à la force totale du test et s'immobilise à hauteur de la profondeur de pénétration rémanente h (exprimée en unités de 0,002 ou 0,001 mm). Cette dernière est également appelée différence de profondeur (différence entre la profondeur de pénétration avant et après application de la force totale du test). La profondeur de pénétration rémanente h permet ensuite de calculer la dureté Rockwell (HR) selon une formule définie dans la norme en s'aidant de [l'échelle Rockwell utilisée](#).

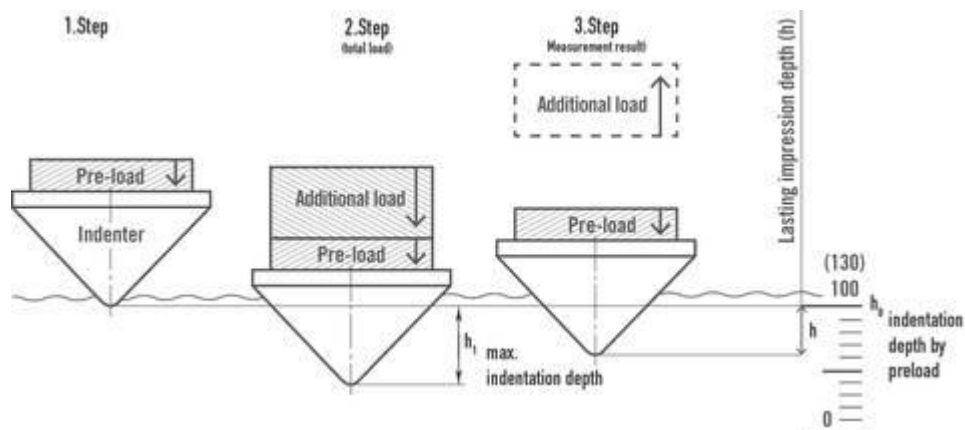


Figure 11 : les étape de test de dureté Rockwell [23]

Dans l'essai Rockwell, les empreintes de dureté doivent être apposées de sorte qu'il reste suffisamment d'espace avec le bord de l'échantillon ainsi qu'entre les différentes empreintes

IV-Examen métallographique :

L'examen métallographique a pour but de mettre en évidence les constituants des produits métallurgiques de la structure de l'échantillon.

IV-1 Attaque chimique :

L'attaque a pour but de révéler les joint de grains et de différencier les constituants de notre acier utiliser. Le réactif chimique utilisé pour nos échantillons est le nital qui est une solution composée de l'acide nitrique dans l'alcool éthylique (5ml d'acide nitrique avec 100 ml d'éthanol), on injecte sur l surface poli cette solution, un temps de maintien suivi d'une opération de nettoyage à l'eau et d'un séchage par flux d'air sur la surface traitée. cette attaque permet un examen microscopique à des grossissements jusqu'à 1000 fois (microscopie optique)

IV-2 Examen au microscope

L'échantillon poli est observé au microscope afin de se rendre compte du fini du polissage

L'examen micrographique a été fait à l'aide d'un microscope métallographique, équipé d'un système de prise de photos, qui permet l'observation des échantillons, avec un grossissement pouvant atteindre 400 fois. Nous avons pris des micrographies des échantillons avant et après les traitements thermiques.

IV-3 Microscope utiliser :

Eclipse LV150N :

Un microscope à tourelle manuelle répondant aux différents besoins d'observation, d'inspection, de recherche et d'analyse de nombreux domaines industriels. Grâce à une ouverture numérique et une distance de travail sans précédent, ce microscope offre des performances optiques supérieures et une imagerie numérique ultra-efficace.[9]

Taille max. de l'échantillon : 150 x 150 mm.

Applications

- Écrans à cristaux liquides (lcd)
- Antennes
- Contrôle de surface
- Télécommunications & électronique
- MEMS
- Métallurgie
- Implants/ Prothèses
- Composites
- Tissus/ textiles
- Optoélectronique
- Fabrication métallique
- Micro-électronique
- Wafers
- Optiques de télescope
- Téléphones mobiles, rasoirs électriques et montres

Avantages et caractéristiques

Type de microscope

- Modèles à éclairage réfléchi dédié.
- Microscope manuel.

Corps de microscope modulaire pouvant s'appliquer à différentes observations et tâches

Compatible avec les observations en fond clair, fond noir, polarisation simple, Contraste par Interférence Différentielle (DIC), épi fluorescence et interférométrie à deux faisceaux.

Ce microscope convient pour la recherche avancée, l'analyse et l'inspection.



Figure-12 : microscope utiliser Nikon éclipse lv150n

5-Résultat et interprétation :

Résultat :

Après nos essais de trempe et de revenu précédents, nous avons mesuré la dureté (HV, HRC) de chaque échantillon, les résultats sont classés dans les tableaux suivants :

Echantillon	Témoin	Trempe	Revenu 01	Revenu 02
Dureté HV	251,05 HV	689,68 HV	549,93 HV	417,49 HV

Tableau 02 : résultat d'essai de dureté Vickers

Echantillon	Témoin	Trempe	Revenu 01	Revenu 02
Dureté HRC	17,72 HRC	56,46 HRC	52,78 HRC	44,56 HRC

Tableau 03 : résultat d'essai de dureté Rockwell (HRC)

- Les résultats de chaque échantillon montrent une grande différence entre la dureté de l'acier utilisé et celle de l'acier Z160 traité par une trempe à l'huile ou l'acier devient très dur, cette augmentation de dureté est probablement accompagnée d'une fragilité de l'acier ce qui nécessite des traitements de revenu pour diminuer une éventuelle fragilisation.
- Comme il est représenté dans le tableau, on remarque que les échantillons de traitement revenu 1 et 2 à 550°C ont une diminution de dureté remarquable par rapport aux échantillons de traitement trempe.
- Pour le revenu 1, si on compare l'échantillon traité par revenu 1 par rapport au trempe, on remarque que la dureté a légèrement diminué de 56,78 HRC à 52,78 HRC, ce qui est probablement dû à un grossissement de grain.
- Pour le revenu 2, on remarque une remarquable diminution de dureté à 44,56 HRC.

Les photos suivante montre les différence microstructure pour chaque traitement :

Témoin :

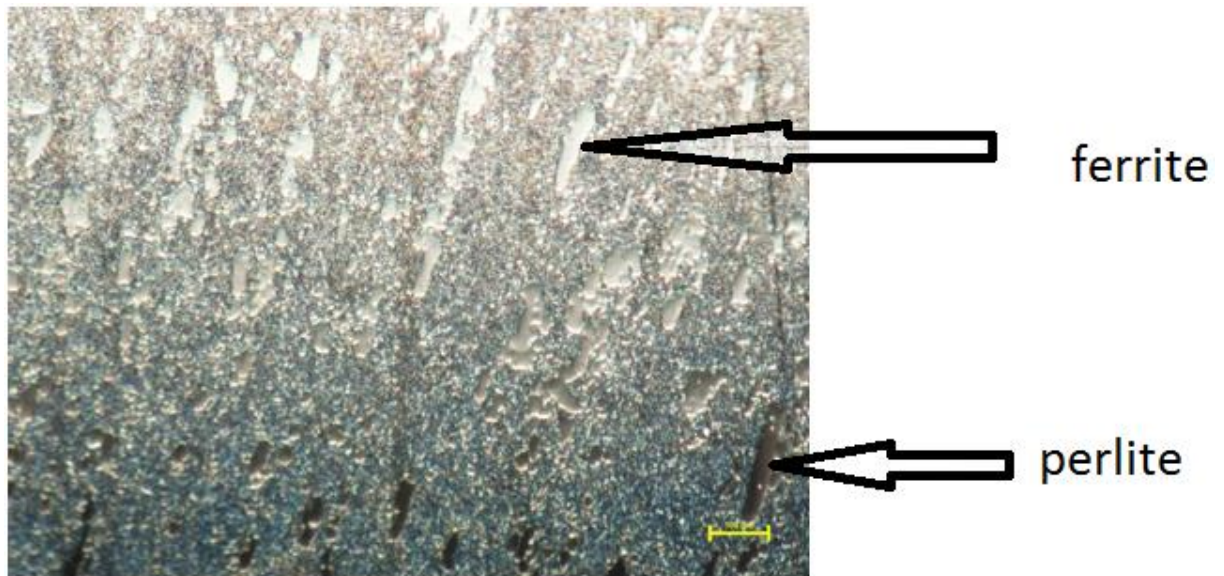


Figure 12 : microstructure témoin z160 *100

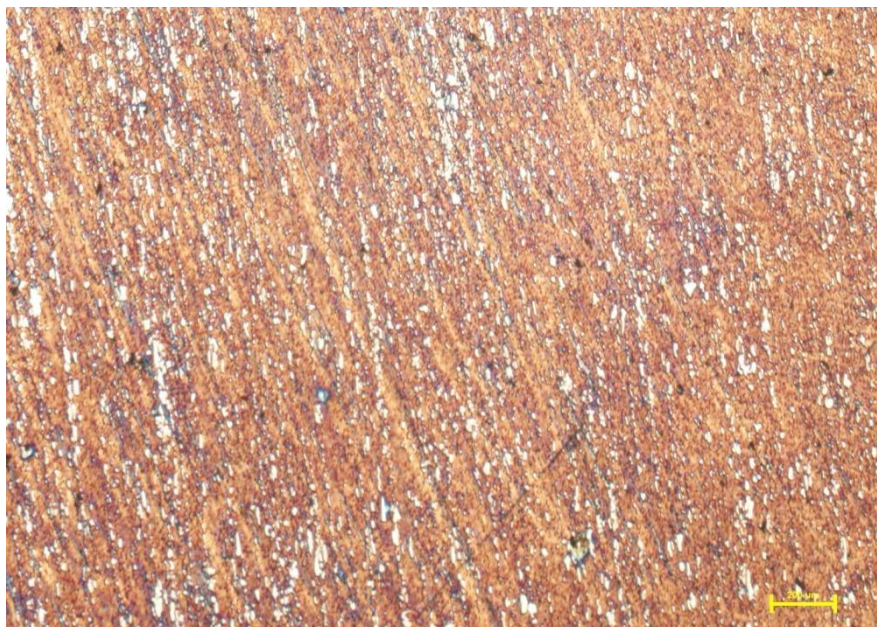


Figure 13 : microstructure témoin z160 *200

D'après les figures 12-13 qui représente une image optique de la microstructure de l'acier Z160 a l'état brute on remarque que l'acier Z160 est composée de deux phases ferrite couleur blanche et du perlite couleur plus foncé marquer par les flèche présentée dans la figure.

où la quantité des phases ont etait estimer qualitativement ou on a constater que la phase perlite qui domine la microstructure de l'acier Z160 a l'état brute.

ce si et expliquer par le tot de carbon élevée du 1,55% dans l'acier Z160.

Trempe :

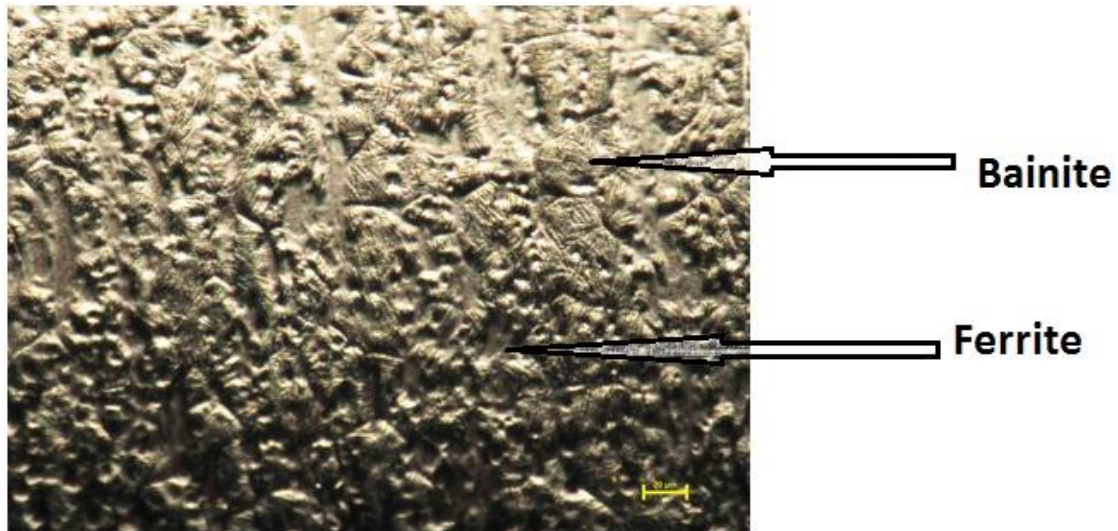


Figure 14 : microstructure z160 trempe *200



Figure 15: microstructure trempe z160 *200

les figures 14-15 représente la microstructure d'un acier chauffer a 1030C° et trempé a l'huile. On observe une microstructure a grain lamellaire ce qui nous maine à dire que la microstructure obtenu et la bainite.

Notons que la ferrite reste dans la microstructure avec une proportion modeste.

Cette transformation de phase nous explique la grande différence entre la dureté de l'acier à l'état brute et ce lui de trempe à l'huile comme il est représenté dans le tableau (17.72 HRC pour l'acier à l'état brute et 56.42 HRC pour l'acier trempé à l'huile)

La trempe bainitique est expliquée peut être par l'utilisation d'un bain d'huile qui est connue par un échange thermique petit donc la vitesse de refroidissement sera plus lente par rapport à une trempe à l'eau .

Les dureté enregistrée de cette acier de trempe sont plus importantes (58.61 HRC) par rapport à notre dureté (56.46 HRC) [fiche technique] la microstructure de ces derniers est martensitique

Revenue01 :



Figure 16 : microstructure z160 revenue 1 *100



Figure 17 : microstructure z160 revenue 1 *200

La figure 16 représente une microstructure Z160 traité par un traitement thermique de revenu a 550C° . Il y a une légère diminution de dureté par rapport a l'échantillon trempé.

Puisque la microstructure n'est pas claire on a pas pu avoir une microstructure claire mais la diminution de dureté et probablement d'u a un grossissement léger des grain de bainite (56.42HRC et 52.78HRC) comme il est représenté dans le tableau.

Revenu 02 :

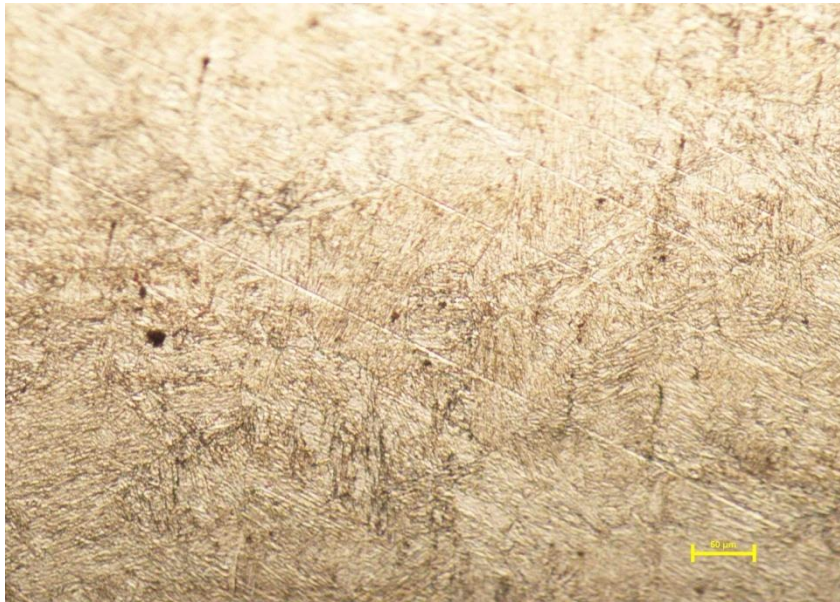


Figure 18 : microstructure z160 revenue 2 *100



Figure 19 : microstructure z160 revenue 1 *200

pour le revenu 02 le grossissement des grain comme il est claire a partir de les figures 18-19 les dureté enregistrer dans le tableau montre une diminution remarquable du 56.42HRC a 44.56 HRC , ce changement de dureté et causer par le grossissement des grain de bainite

Conclusion générale :

Le travail présenté dans ce mémoire est principalement de nature expérimentale, il a permis de donner des réponses à certaines questions relatives au traitement thermique d'un acier a outil et sa relation avec le changement de microstructure et dureté

Les études effectuées nous ont permis de conclure que :

- Le traitement thermique de trempe n'est pas suffisant pour utiliser directement en industrie car l'acier devient très dur mais au même temps très fragile et sa microstructure change cela a une influence sur sa dureté
- Le milieu de refroidissement et la vitesse de refroidissement a une grande influence sur le traitement thermique de l'acier
- notre traitement thermique de trempe a l'huile a permis une augmentation remarquable de la dureté avec (56.42 HRC) par rapport a l'état initiale (17.72 HRC).
- cette augmentation de dureté est causée par une transformation de phase après austénisation ou la microstructure finale est composée principalement de la phase bainite
- le traitement de revenu on diminue la dureté à cause d'un grossissement des grains.

Liste des références

- [1] classification des aciers et des fontes 34 pages
- [2] [http //fr.abrams-industries.com/acier/nuances/acier-a-outils/classification-des-acier-a-outil](http://fr.abrams-industries.com/acier/nuances/acier-a-outils/classification-des-acier-a-outil)
- [3] Boom, R., Dancers, O., Van Veen, A. & Kamperman, A.A. Argon solubility in liquid steel. Metallurgical and Materials Transactions B, 2000
- [4] Causton, R.J. & Cimino, T... Machinability of P/M Steels. Davidson, G. M. & al. (éd) ASM Handbook Volume 07: Powder Metal Technologies and Applications, 671-680. ASM International. 1998
- [5] Chang, S.-H., Tang, T.-P., Huang, K.-T. & Tai, F.-C. Effects of sintering process and heat treatments on microstructures and mechanical properties of VANADIS 4 tool steel added with TiC powders. Powder Metallurgy, 2011
- [6] fiche technique Bohler.
- [7] Christopherson, D. & L'Espérance, G. (2009b). Novel Sinter-Hardening Processes, Canada Hamilton. Chun, K.J., Kim, J.H. & Hong, J.S. (2007). A study of exhaust valve and seat insert wear depending on cycle numbers,
- [8] Clementi, E, Raimondi, D.L. & Reinhardt, W.P Atomic screening constants from S. C 1967.
- [9] F. functions, II. Atoms with 37 to 86 electrons. Journal of Chemical Physics,
- [10] Cullity, B.D. Elements of X-ray diffraction. 2ème édition. Addison-Wesley Pub. Co
- [11] j.m.georges, frottement, usure et lubrification. Paris : eyrolles et Cnrs éditions, sciences et techniques de l'ingénieur, 2000.
- [12] : WEVER (F), ROSE (A), PETER (W), STRASSFURG (W) et REDEMACHER (L.). atlas of isothermal transformation diagrams of B.S. En Steels. (10 ref.), 1949, Special report.
- [13]: Métallurgie, élaboration des métaux, C.Chaussin et G.Hilly, édition Dunod Paris, 1972.
- [14], [15] : S.Bensaada, Traitements Thermiques, Classification Et Désignation Des Aciers Et Fontes.

[16] : Mémoire : BOUTEBBA Salah Eddine,2017.

[boler]

[17] : univ-biskra enseignant bensaada Traitement thermique.pdf

[18]:notech.franceserv.materiau-acier

[19]: laboandco-fours-nabertherm-four-a-moufle-nabertherm-htct-0116-NAB-LC012H6DN

[20] : sttm.fr/traitement-thermique

[21] : emcotest.com/fr/lunivers-des-essais-de-durete/connaissances-de-la-durete/theorie-des-essais-de-durete/rockwell/deroulement-de-la-methode-d-aposessai-rockwell

[22]: wikipedia.org/wiki/Duret%C3%A9_Vickers

[23] :emcotest.com/fr/lunivers-des-essais-de-durete/connaissances-de-la-durete/theorie-des-essais-de-durete/rockwell/deroulement-de-la-methode-d-aposessai-rockwell

[24]: wikipedia.org/wiki/Duret%C3%A9_Rockwell

[25] : microscope nikonmetrology.com/fr/microscopes-industriels/microscopes-droits-lv150n

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I-1 : Principales classes d'acier à outils.....05

Tableau I-2: Résistance à l'usure, ténacité et dureté à chaud des aciers à outils.....06

Chapitre III

Tableau I-3: composition chimique de l'acier z160.....33

Chapitre IV

Tableau IV-1 : composition chimique de acier z160.....35

Tableau IV-5 : résultat d'essée de dureté rockwell (HRC).....49

Tableau IV-4 : résultat d'essée de dureté vickers49

Liste des figures

Chapitre I

Figure I-01 : Dureté Rockwell C de la martensite.....	07
Figure I-02 : Micrographies d'aciers à outils pour travail à froid.....	08
Figure I-03 : Microstructures d'aciers à outils pour travail à chaud.	09
Figure I-04 : Micrographie d'un acier fritté.....	11
Figure I-05 : Diagramme de phase ternaire.....	12
Figure I-06 : Diagramme binaire fer-carbone.....	14

Chapitre II

Figure II-01:Le procédé de traitement thermique.....	16
Figure II-02 : transformations. Pour décrire l'allure cinétique des transformations, on utilise le diagramme TTT.....	19
Figure II-03 : transformation perlite.....	20
Figure II-04 : la vitesse de refroidissement sur les différentes transformations de l'austénite.	22
Figure II-05 : Schéma du traitement thermique acier z160 k110.....	24
Figure II-06 : Le cycle de la trempe.	26
Figure II-07 : Cycle complet (trempe, revenu).....	28
Figure II-08 : courbe de revenu acier z160.....	30

Chapitre III

Figure II-09 : Diagramme de transformation en refroidissement continu / Diagramme CCT..	33
---	----

Chapitre VI

Figure III-01 : échantillon découpes.....	36
Figure III-02 : polisseuse a deux disques.....	37
Figure III-03 : polisseuse de finition.....	37
Figure III-04 : cycle de traitement thermique.....	38

Liste des Figures

Figure III-05 : cycle thermique de la trempe.....	39
Figure III-06 : four utiliser en traitement thermique.....	40
Figure III-07 : cycle thermique de revenu.....	41
Figure III-08 : machine de dureté nemesis 9100.....	43
Figure III-09 : principes de la dureté vickers.....	44
Figure III-10 : les étape de teste de dureté rockwell.....	45
Figure III-11 : microscope uyilisernikon lv150n.....	48
Figure III-12 : microstructure temoin z160*100.....	50
Figure III-13 : microstructure temoin z160*200.....	50
Figure III-14 : microstructure z160 trempe *200.....	51
Figure III-15 : microstructure z160 trempe*200.....	51
Figure III-16 : microstructure z160 revenu 1*100.....	53
Figure III-17 : microstructure z160 revenu 1*200.....	53
Figure III-18 : microstructure z160 revenu 2*100.....	54
Figure III-19 : microstructure z160 revenu 2*200.....	54