République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de lôEnseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A.MIRA de Bejaia

Faculté de Technologie

Département de Génie mécanique

Mémoire de fin dôEtudes

En vue de lôobtention du diplôme de Master en Génie Mécanique

Option : Matériaux pour lôIngénierie Mécanique

Thème

Effet du traitement de normalisation sur le comportement en dureté et résilience de l'acier de construction mécanique A60

Présenté par :

AZZI Yacine

MAZRI Tarik

Encadré par :

Pr A . A T I

Soutenu devant le jury composé de :

Mr K. YAYA	M.C.B	Président
Mr Dj. AMARI	M.A.A	Examinateur
Mr K. OURARI	M.A.A	Examinateur

2013-2014

Remerciements

Dieu soit loué et merci pour la santé et le courage qu'il nous a donné.

Ce travail ne pouvait aboutir sans l'aide précieuse de notre promoteur **le professeur Abdelaziz ATI** que nous tenons à remercier énormément pour son précieux encadrement tout le long de notre travail.

Nous tenons à remercier **Mr YAYA Kamel** pour avoir présidé notre soutenance ainsi que **Mr AMARI** et **Mr OURARI** membres du jury et tous nos enseignants du département génie mécanique spécialement ceux de l'option matériaux.

Nous tenons également à remercier le Directeur de l'UGB de nous avoir accordé l'accès à l'entreprise ainsi que la fourniture de l'acier A60. L'ensemble du personnel technique de l'UGB est également remercie pour son soutien.

Nos sincères remerciements également à **Monsieur BOURNANE** responsable du laboratoire contrôle des matériaux pour son aide importante lors de nos essais mécaniques. Que le personnel du département de métallurgie de **l'Université Badji Mokhtar d'Annaba** trouve ici notre gratitude pour leur accueil chaleureux lors de notre passage pour réaliser les observations métallographiques de nos échantillons.

Nos chaleureux remerciements vont également aux travailleurs du HALL de technologie de l'Université de BEJAIA.

Nous tenons à remercier l'ensemble de nos camarades du génie mécanique et particulièrement ceux de la promotion **Matériaux** "LES HOMMES"

Enfin, nous remercions toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Nous dédions ce travail à :

Nos très chers parents qui se sont donnés beaucoup de peine dans la vie pour notre réussite, que dieu les protèges

Frères & sœurs

Tous nous ami(s)(es)

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Désignation des aciers selon leur emploi et leur caractéristique Mécanique……..…-2-

Tableau 1.2 : Désignation des aciers non alliés …….-3-

Tableau 1.3 : Désignations des aciers faiblement alliés ……....-4-

Tableau 2.1 : Certificat d'analyse chimique et mécanique d'acier A60…..…-16-

Tableau 2.2 : Paramètres de fraisage pour la réalisation des éprouvettes d'essais Mécaniques ……..…-18-

Liste des figures

Figure 1.1 : Classification des traitements thermiques ……..…….-5-

Figure 1.2 : Le domaine de température de la normalisation ……..……..……...-8-

Figure 1.3 : Schéma illustre le principe de l'essai de résistance aux chocs …..……..…-10-

Figure 1.4 : Eprouvette de Charpy en U……..……..…...-11-

Figure 1.5 : Eprouvette de Charpy en V……..……..…...-11-

Figure 1.6 : Principe de dureté Brinell……..…….....-13-

Figure 1.7 : Principe de la dureté Rockwell (échelle bill en acier) ……...…….…-14-

Figure 1.8 : Méthode de Rockwell (cône)…….…..……..…-14-

Figure 1.9 : Principe de dureté Vickers…….……..…...-15-

Figure 2.1 : (A) plaquettes de tôle en acier A60. (B) scie mécanique sous lubrification.…….....-17-

Figure 2.2 : (A) four a moufle, (B) indicateur de température du four, (C) les barreaux métalliques après traitement thermique ……..……..…..…-17-

Figure 2.3 : Scie tronçonneuse sous lubrification……..…..……..…-18-

Figure 2.4 : Etat de surface après polissage des éprouvettes d'essais mécanique ….....-19-

Figure 2.5 : (A) broche de fraise inclinée à 45°, (B) éprouvette de résistance en

entaille V……..……..…….-19-

Figure 2.6 : Mouton pendule de l'UGB ……..…...-20-

Figure 2.7 : Machine de dureté universelle diastor de l'UGB……..…….-21-

Figure 2.8 : Empreinte de dureté Brinell……..…...-22-

Figure 2.9 : Polisseuse mécanique……..…….…..-23-

Figure 2.10 : Dispositif du microscope optique piloté par ordinateur (laboratoire de métallographie département métallurgie université de Annaba)…….……..-24-

Figure 3.1 : Observation microscopique de l'acier A60 $G100^{x}$……-25-

Figure 3.2 : Observation microscopique de l'acier A60 $G200^{x}$……-25-

Figure 3.3 : Filiation de dureté HB effectué sur l'ensemble des éprouvettes avant et après traitement de normalisation ……..-26-

Figure 3.4 : Filiation de dureté moyenne issue de l'ensemble des éprouvettes avant et après traitement de normalisation ……..…….-27-

Figure 3.5 : Histogrammes des dix valeurs de KCV obtenue pour chacune des dix éprouvettes a l'état brut de livraison ……..……..-28-

Figure 3.6 : Histogramme des dix valeurs de KCV obtenue pour chacune des dix éprouvettes après traitement de normalisation ……..……...-29-

Figure 3.7 : Valeurs moyennes de la résistance KCV avant et après traitement de normalisation ……...……..-30-

Sommaire

Introduction ……-01 -

Chapitre I Revue bibliographique

I.- Les aciers…….. -2-

I.1.1- Définition……..-2-

I.1.2 -Classification des aciers. ……..-2-

I.1.2.1 -Group 1……..-2-

I.1.2.2 -Group 2……..-3-.

I.1.2.2.1- Aciers non alliés……..-3-

I.1.2.2.2- Aciers faiblement alliés……...-3-

I.1.2.2.3- Aciers fortement alliés……-4-

I.2- Les traitements thermiques……..-5-

I.2.1- Définition…….-5-

I.2.2- Le recuit……-5-

I.2.2.1-Traitement de normalisation……...-7-

I.3- Transformation de phase……-9-

I.3.1- Austénisation. …….-9-

I.3.2- Croissance du grain d'austénite au chauffage…….-9-

I.3.2.3- Influence de la grosseur du grain sur les propriétés de l'acier…….-10-

I.4- Propriétés mécaniques des métaux……..-10-

I.4.1- La résilience……...-10-

I.4.1.1- Les éprouvettes de résilience…….-11-

a- Eprouvettes Charpy U……-11-

b- Eprouvettes Charpy V……-11-

I.4.2- La dureté ……..-12-

I.4.2.1- Types d'essais de dureté ……...-12-

a- Essai de dureté Brinell……-12-

b- Essai de dureté Rockwell……...-13-

c- Essai de dureté Vickers……..-14-

Chapitre II Matériaux et techniques expérimentales

II.1- Présentation du matériau……...-16-

II.1.1- L'aciers A60……...-16-

II.2- Réalisation des barreaux métallique pour le traitement thermique ……..-17-

II.2.1- Préparation des barreaux métallique …… -17-

II.2.2- Traitement thermique de normalisation …….-17-

II.2.2.1- Principe de traitement thermique de normalisation …….-18-

II.2.3- Préparation des éprouvettes d'essai mécanique …….-18-

II.2.3.1- Prélèvement des éprouvettes d'essais mécaniques ……..-18-

II.2.3.2- Réalisation des éprouvettes de résistance au choc « résilience »…….-19-

II.3- Présentation des essais mécaniques utilisés dans notre étude ……..-20-

II.3.1- Essai de résistance au choc « résilience » ……..-20-

II.3.2- Essai de dureté ……-21-

II.4- Examens métallographiques……...-23-

II.4.1- Prélèvement des échantillons …….-23-

II.4.2- Polissage …….-23-

II.4.3- Attaque chimique ……...-23-

II.4.4- Microscope métallographique ……-24-

II.4.5- Examen au microscope……-24-

Chapitre III Résultats et discussion

III.1- Résultat de l'observation micrographique ……..-25-

III.2- Dureté Brinell HB…….-26-

III.3- Essai de résistance aux chocs « résilience »…….-28-

III.4- Conclusion……-30-

Conclusion générale ……...-31-

Référence bibliographiques

Introduction générale et problématique

Du fait de sa grande résistance, de sa bonne aptitude à l'usinage et de sa grande compétitivité, l'acier est l'un des matériaux de construction le plus utilisé dans l'industrie mécanique. En changeant sa composition chimique et en utilisant des traitements thermiques appropriés, il est possible de varier à grande échelle ses propriétés mécaniques.

La possibilité d'attribuer aux aciers une gamme étendue de propriétés grâce à des traitements thermiques, thermochimiques, et à l'addition d'éléments d'alliage est à l'origine de très large éventail d'utilisation de ce métal. Il prend sa place presque dans tous les domaines telle que les industries mécaniques, chimique, automobiles, pétrolières, aéronautiques, nucléaires…, etc.

Les traitements thermiques traditionnels font partie d'un processus physique permettant l'amélioration des propriétés des pièces mécaniques et des mécanismes. Le procédé se résume dans la succession des opérations de chauffage, de maintien et suivi d'un refroidissement approprié en relation avec la composition chimique de l'acier.

L'Unité Grue de Bejaia (UGB) a pour mission la fabrication de divers types de grues. C'est une unité qui dépend de l'Entreprise Nationale des Matériels de Travaux publiques (ENMTP) située à Constantine et issue de la restructuration des EX-SONACOME et SN Métal en 1983. L'ENMTP est spécialisée dans la production, la commercialisation et la maintenance d'une gamme très vaste de produits de matériels de travaux publics : pelles automotrices sur pneus ou sur chenilles, grues automotrices ou chantiers, bétonnières, niveleuses, compacteurs, compresseurs, chargeurs et rétro chargeurs.

Pour ce qui concerne notre travail, le sujet proposé porte sur l'étude de l'effet de traitement thermique de normalisation sur la microstructure et les propriétés mécaniques (dureté Brinell et résilience) de l'acier A60 utilisé par l'Unité Grue de Bejaia pour la fabrication des châssis de grues.

Ce mémoire est structuré comme suit :

- Le premier chapitre est une synthèse des données existantes sur les caractéristiques et les propriétés des aciers en générale et les traitements thermiques.
- Le deuxième chapitre représente les techniques expérimentales utilisées dans ce travail : préparation par usinage des éprouvettes d'essais mécaniques , et une synthèse des données de la littérature sur le comportement mécanique en résistance aux chocs (résilience).
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation et l'interprétation des résultats obtenus.
- Ce mémoire est clôturé par une conclusion générale.

Chapitre I

Revue bibliographique

I.1 Les aciers

I.1.1 Définition [17]

L'acier peut être défini comme un matériau composé essentiellement de fer et présentant une teneur en carbone inférieure à 2 %. Il peut encore contenir d'autres éléments mais de tous ces éléments d'alliage, le carbone a l'effet le plus prononcé sur les propriétés de l'acier. Si l'on ajoute plus de 0,5 % d'éléments d'alliage à l'acier, on parle d'acier allié. Si la proportion d'éléments d'alliage est inférieure à ce chiffre, on parle d'acier non allié.

I.1.2 Classification des aciers [6], [16]

Pour des besoins industriels, la norme NF EN a retenu deux groupes de désignation :
-GROUPE 1 (NF EN 10027-1) : les aciers désignés à partir de leurs caractéristiques mécaniques et physiques (aciers pour façonnage ultérieur) ou les aciers désignés à partir de leur emploi (fils, tôles, aciers revêtus…).
-GROUPE 2 (NF EN 10020) : Les aciers désignés à partir de leur composition chimique.

I.1.2.1 Groupe 1

S	235

Lettre	Valeur numérique
Cf. tableau suivant	Cette valeur désigne les propriétés mécaniques de l'acier (Re)

Tableau 1.1 : désignation des aciers selon leur emploi et leur caractéristique mécanique

Lettre	Signification	Valeur numérique
E	Acier de construction	Re mini
S	Acier de construction y compris les aciers à grains fins	Re mini
H	Acier à haute résistance laminé à froid pour emboutissage à froid	Re mini
P	Acier pour appareil à pression	Re mini
D	Acier pour formage à froid	Degré d'emboutissage

- Dans le cas d'aciers livrés moulé la désignation est précédée de la lettre G (ex : GS 235)

Exemples :
E335 : acier de construction mécanique ayant une limite élastique minimale de 335 MPa

S235 : acier de construction ayant une limite élastique minimale de 235 MPa

I.1.2.2 Groupe 2

I.1.2.2.1 Aciers non alliés

Ils ont une teneur en manganèse inférieure à 1%, à l'exclusion des aciers de décolletage. Les teneurs de ces aciers en divers éléments considérés comme des impuretés, ne doivent pas dépasser des limites définies par la norme NF EN 10020.

C	22

Lettre	Valeur numérique
C	2 chiffres représentant le pourcentage de carbone en masse de l'acier multiplié par 100

- La désignation est précédée de la lettre G si la pièce est livrée moulée.
- La désignation peut être suivie par un indice indiquant certaine propriétés de l'acier

Tableau 1.2 : désignation des aciers non alliés

Indice	Signification	
E	Teneur maximale en soufre spécifiée	Ils peuvent être suivi de la teneur en soufre en 1 /100° de%
R	Fourchette en soufre spécifié	
D	Pour tréfilage de fils	
C	Pour formage à froid	
S	Pour ressorts	
U	Pour outillage	

Exemple : C 35 Acier non allié spécial pour trempe et revenu contenant 0,35 % de C.

I.1.2.2.2 Acier faiblement alliés

34	Cr Mo	4

Ce sont des aciers dans la teneur de chaque élément d'alliade est inférieure à 5%, à l'éxclusion des aciers rapides.

- Si la teneur d'un élément d'addition ne peut pas dépasser 5% la somme des teneurs le peut.

- Dans le cas ou la désignation requiert plusieurs valeurs, elles sont séparées par un trait d'union.

Tableau 1.3 : désignation des aciers faiblement alliés

Valeur numérique	Symboles chimiques	Valeur numérique
Cette valeur représente le pourcentage de carbone multiplié par 100	Ce sont les symboles chimiques des éléments d'addition placés dans l'ordre décroissant de leur teneur	La valeur indique la teneur % en masse des éléments d'addition depuis le premier symbole chimique,cette teneur étant multipliée par un facteur donné.voir tableau suivant.

Cr	Co	Mn	Ni	Si	W	Al	Be	Cu	Mo	Nb	Pb	Ta	Ti	V	Zr	N	P	S	B
Pourcentage x 4						Pourcentage x 10										x100			x1000

COMPLEMENT :

- A la suite de la désignation d'un acier non allié ou faiblement allié, on peut trouver les symboles qui désignent le degré de trempabilité.

H : trempabilité normale
HH : trempabilité maximale
HL : trempabilité minimale

- On peut de également trouver des symboles renseignant sur l'état de traitement de l'acier.

U : brut
A : adouci
N : normalisé
QT : trempé et revenu

- Il existe d'autres possibilités de coder un état de livraison . (Se reporter à la norme)

I.1.2.2.3 Acier fortement alliés

Un acier est considéré comme fortement allié si au moins un des éléments d'addition a une teneur supérieure à 5%.

X	8	Cr Ni	18-9

Lettre X	Valeur numérique	Symboles chimiques	Valeur numérique
Précise que l'alliage qui va etre codé est un acier fortement allié	Cette valeur représente le pourcentage de carbone multiplié par 100 (ici 0,08%)	Ce sont les symboles chimiques des éléments d'addition placé dans l'ordre décroissant de leur teneur. Ici Cr ,le chrome a une teneur>à Ni, le nickel.	La valeur indique la teneur % en masse des éléments d'addition depuis le premier symbole chimique. Ici Cr=18% et Ni=9%. Les valeurs sont séparées par un tiret.

I.2 Les traitements thermiques [1]

I.2.1 Définition

Les traitements thermiques sont des opérations de chauffage et de refroidissement qui ont pour but de donner à une piéce métallique les propriétés les plus appropriées pour son emploi ou sa mise en forme. Ils permettent d'améliorer dans une large mesure les caractéristiques mécaniques d'un acier de composition déterminée. Toute utilisation rationnelle d'un alliage implique un traitement thermique approprié. D'une facon générale, un traitement thermique ne modifie pas la composition chimique de l'alliage mais apporte les modifications suivantes :

- Constitution (état de carbone et forme allotropique du fer)
- Structure (grosseur du grain et répartition des constituants)
- Caractéristiques mécaniques.

Les principaux traitements thermiques sont les suivants : trempe, revenu et recuit.

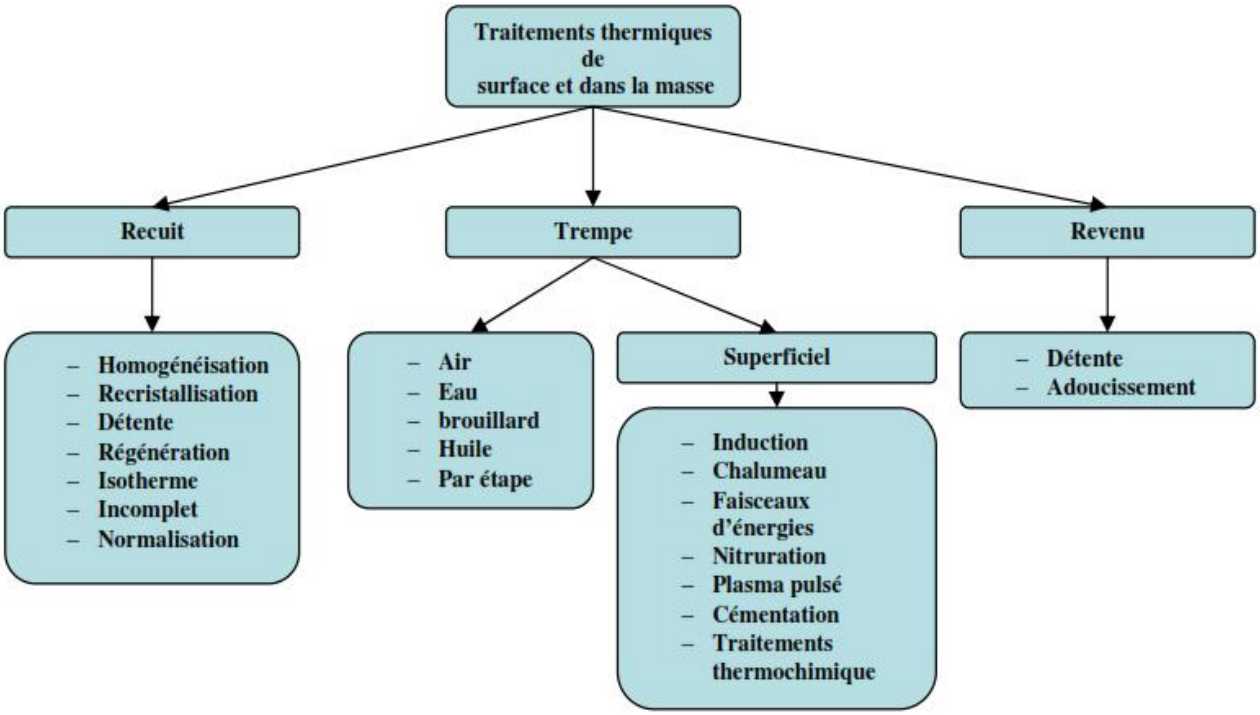


Figure 1.1 : Classification des traitements thermiques

I.2.2 Le recuit

De facon générale, par le terme « recuit », on entend « adoucir » ce qui n'est qu'un aspect du recuit. D'un point de vue physique ce traitement thermique permet d'obtenir un état d'équilibre de plus faible énergie interne possible c'est-à-dire le plus stable possible.

Le recuit a pour but de :

- Diminuer la dureté d'un acier trempé.
- D'obtenire le maximum d'adoucissement pour que l'usinage ou les traitements mécaniques soient plus faciles.
- Régénérer un métal qui a été écroui ou surchauffé.
- Homogénéiser les textures hétérogénes.
- Réduire les contraintes internes.

Un cycle thermique de recuit comprend trois phases :

- Une phase de chauffage jusqu'à une température dite de recuit qui dépend du type de recuit à réaliser.
- Une phase de maintien isotherme à la température de recuit, on a aussi la possibilité d'avoire des oscillations autour de cette température.
- Une derniére phase de refoidissement très lent généralement à l'air calme. La vitesse de refroidissement doit etre inférieure à la vitesse critique de recuit.

Les recuits se déclinent de plusieures facon selon le résultat que l'on veut obtenire. Les deux températures suivantes varient en fonction du type de métal utilisé, Ac3 est température au-delà de laquelle il y a homogénésation, normalisation. En decà et aux alentours de la température Ac1 il y a l'adoucissement, la recristallisation, la détente.

- Le recuit d'homogénéisation [19]

s'applique aux aciers bruts de coulée pour lesquels le refroidissement a entraîné l'hétérogénéité de composition chimique (ségrégation) de l'austénite. Il s'obtient en maintenant l'acier dans le domaine austénitique (solution solide) à une température aussi élevée que possible afin d'accélérer la diffusion du carbone et celle des autres éléments d'alliage.

- Le recuit de régénération ou normalisation sert à affiner le grain (le rendre plus petit) pour les pièces qui ont subi un grossissement de grain parce qu'ils étaient exposés à une température élevée lors d'une opération de forgeage, moulage ou soudage. Le traitement s'effectue, pour une durée de quelques minutes, entre 50 à 100°C au-dessus de la limite inférieure du domaine austénitique**.** Le refroidissement (normalement à l'air) ne doit pas être trop lent pour éviter un grossissement de grain de la ferrite.

Sous les mêmes conditions, mais pour une durée un peu plus longue (15 à 30 min) on pratique le recuit d'adoucissement sur les pièces trempées pour faciliter ensuite leur usinage et formage. On peut obtenir le même résultat par un revenu à une température en-dessous de la température de transformation pendant environ 15h.

- Le recuit de détente remet l'alliage en équilibre mécanique en diminuant les contraintes résiduelles (contraintes internes) résultant d'un travail à froid ou d'une opération de soudage. La température du traitement n'est pas liée à la transformation mais dépend fortement de l'acier.

- Le recuit de recristallisation sert à diminuer la fragilité d'un métal écroui et de lui redonner sa capacité de déformation. Pour un acier ordinaire, ce traitement s'effectue au-dessus de 600°C. Il est clair qu'un de ces traitements mentionnés peut remédier à plusieurs défauts à la fois. Ceci est évident puisque les domaines de température des différents traitements se recouvrent partiellement.

Notre travail étant centré particuliérement sur le traitement de normalisation, nous développerons donc particuliérement ce dernier.

I.2.2.1 Traitement de normalisation [4]

C'est un traitement thermique qui consiste à :

- Un chauffage de l'acier hypoeutectoïde à (AC3 + 50°C).

- Un chauffage de l'acier hypereutectoïde à (Acm + 50°C). C'est à dire un chauffage jusqu'au domaine austénitique :

- Un maintien (assez court) à cette température jusqu'à son échauffement complet.

- Un refroidissement à l'air libre.

La normalisation provoque la recristallisation aussi de l'acier et affine donc la structure à gros grains obtenue par coulée ou laminage (forgeage estampage). Ce traitement s'emploie largement en remplacement de la trempe et du revenu pour améliorer les propriétés des pièces moulées en acier.

Un refroidissement accéléré à l'air conduit à la décomposition de l'austénite aux températures plus basses et augmente ainsi la dispersion de la structure ferrite-cémentite ainsi que la quantité de la perlite ou plus précisément, de quasi eutectoïde du type sorbite ou troostite. Ceci augmente de 10 à 15 % la résistance et la dureté de l'acier normalisé à haut et moyen carbone par rapport à l'acier recuit. Le but de la normalisation varie en fonction de la composition de l'acier.

Pour les aciers à bas carbone, la normalisation étant une opération bien plus simple, elle s'emploie au lieu du recuit en augmentant quelque peu la dureté.

Pour un acier à teneur moyenne en carbone, la normalisation remplace la trempe et le revenu à haute température. Les propriétés mécaniques obtenues sont plus faibles, mais l'opération produit une déformation bien moindre que celle due à la trempe et la probabilité d'apparition des formes n'existe pratiquement pas.

Dans le cas d'un acier à haut carbone (hypereutectoïde), la normalisation est appliquée pour éliminer le réseau de cémentite qui peut apparaître lors d'un refroidissement lent dans l'intervalle de température entre ACm, et A1.La normalisation suivie de recuit d'adoucissement (600 à 650°C) est appliquée souvent au lieu du recuit complet pour corriger la structure des aciers alliés, la productivité de ces deux opérations étant plus élevée que celle du recuit tout seul. Donc la normalisation est destinée non seulement à la régénération d'un acier surchauffé (affinage du grain, homogénéisation de la structure), mais aussi à :

- Supprimer les effets de la trempe.

- Supprimer l'écrouissage et les tensions internes.

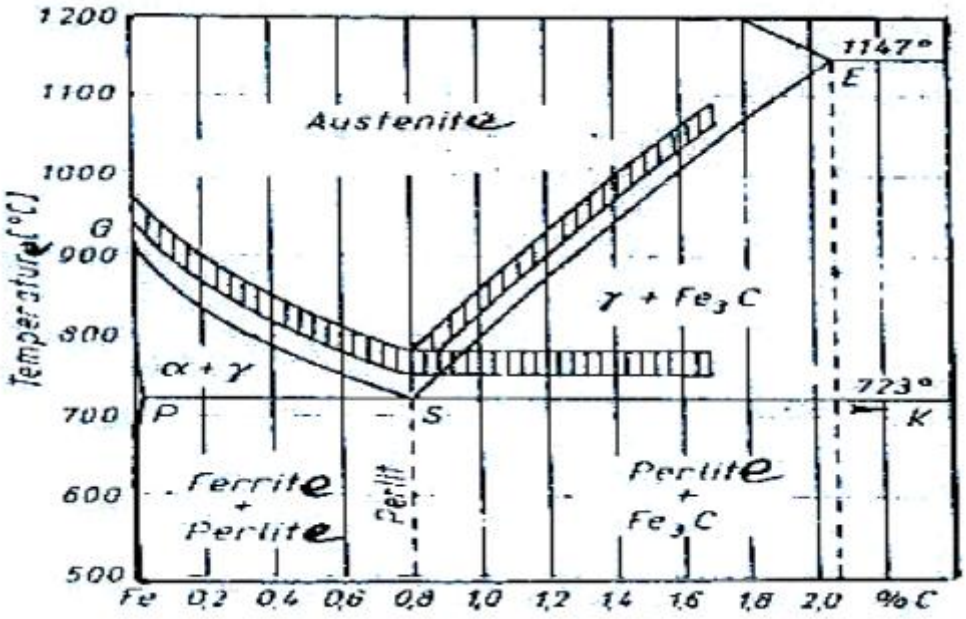


Figure 1. 2 : le domaine de température de la normalisation.

I.3 Transformation de phase

Les transformations de phases étant gouvernées par des mécanismes de germination/croissance. Ces mécanismes dépendent de plusieurs paramètres qui sont la composition chimique du matériau, l'histoire thermique subie par le matériau (chauffage/refroidissement), et les contraintes et déformations imposées par le milieu extérieur ou générées par la transformation elle-même.

I.3.1 Austénitisation [3]

La possibilité d'austénitiser un acier est une condition nécessaire pour pouvoir le traité thermiquement. Les paramètres d'austénitisation sont :

- La température d'austénitisation θ_a. pour les aciers hypoeutectoides , $\theta_a = Ac_3$ + 30°C à 50°C.
- La durée d'austénitisation T_a qui est fonction de la massivité de la pièce. L'état austénitisé (à la fin du temps T_a) est caractérisé par :

- La composition chimique moyenne de l'austénite : le temps T_a influe sur l'homogénéité de l'austénite (apparition des ségrégations).
- La grosseur du grain austénitique est déterminée par la température du chauffage, la durée du séjour à cette température et l'aptitude de l'acier à la croissance du grain pendant l'échauffement.

I.3.2 Croissance du grain d'austénite au chauffage [2]

Lorsque la température est portée au-dessus de A_1, il se forme à l'interface de la ferrite-cémentite, des germes de l'austénite qui croissent jusqu'au moment où toute la structure se transforme dans l'austénite.

En élevant la température ou en prolongeant la durée de séjour à la température donnée, on déclenche une cristallisation qui grossit le grain austénitique. Cette croissance est spontanée car le système à tendance à diminuer l'énergie libre en réduisant la surface des grains. Les gros grains se développent aux dépens des petits grains thermodynamiquement moins stables.

Les dimensions des grains formés lors du chauffage jusqu'à une température donnée ne changent naturellement pas au refroidissement ultérieur. L'aptitude du grain austénitique à la croissance varie suivant les conditions de fusion même pour les aciers de composition identique.

Donc la grosseur du grain d'austénite réel est déterminée par la température de chauffage, la durée de séjour à cette température et l'aptitude de l'acier à la croissance. Du grain pendant l'échauffement. Un acier est dit "surchauffé" lorsque son échauffement jusqu'à une température nettement supérieure à AC3, ou AC4, reste prolongé, ceci conduit à un grossissement du grain austénite aussi bien à cette température de maintien, qu'après refroidissement à la température ambiante.

La surchauffe peut être corrigée par un traitement thermique d'affinage structural. Il est préférable d'éviter les surchauffes de l'acier en raison d'une éventuelle décarburation superficielle qui se produit.

Un acier est dit "brûlé" lorsque la température de chauffage est plus poussée et l'atmosphère est oxydante. La brûlure est un défaut irréparable à cause de la formation des oxydes de fer aux joints de grains.

D'une manière générale l'influence de la grosseur du grain sur les propriétés mécaniques à peu d'importance, sauf sur la résilience qui chute notablement surtout dans le cas d'une dureté élevée et le seuil de fragilité à froid qui s'élève. Plus le grain est gros, plus l'acier est apte aux tapures et aux déformations de trempe.

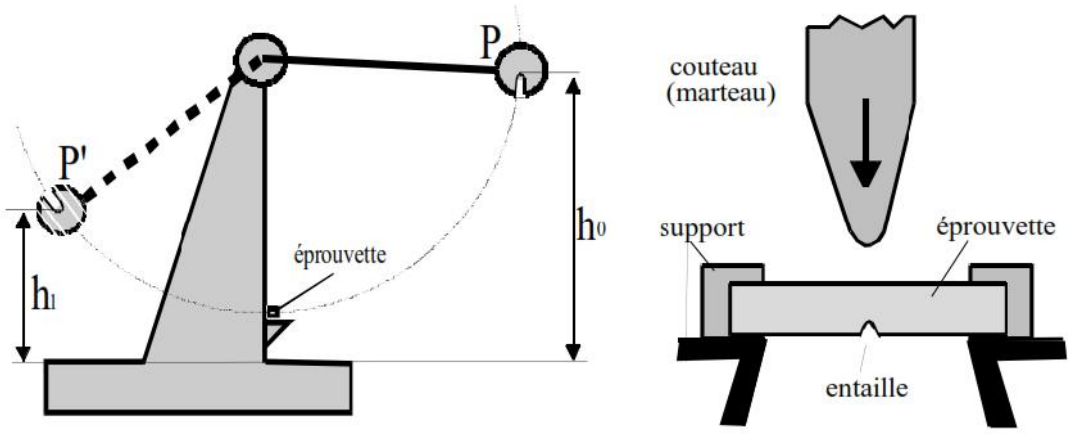
I.3.2.3 Influence de la grosseur du grain sur les propriétés de l'acier [18]

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

I.4 Propriétés mécaniques des métaux

I.4.1 La résilience [5]

La résilience représente la résistance d'un matériau à la propagation brutale d'une fissure sous l'effet d'un choc. Elle se mesure par l'énergie par unité de section consommée pour la rupture d'une éprouvette, en J/cm^2. L'essai de résilience le plus couramment pratiqué sur les matériaux métalliques est l'essai Charpy, effectué sur un mouton- pendule qui brise en flexion 3-points une éprouvette prismatique à entaille en U ou en V. L'altitude de remontée du pendule, comparée à son altitude de départ, permet de chiffrer facilement l'énergie absorbée lors de la rupture.



Figue 1.3 : Schéma illustre le principe de l'essai de résistance aux chocs.

Grandeur à mesurer

- Le couteau est écarté de la verticale à une hauteur correspondante à une énergie de départ W_0.

$$\mathbf{W_0 = m\ g\ h_i}$$

- La chute du couteau brisera l'éprouvette, et on mesure la hauteur à laquelle remonte le pendule pour calculer l'énergie non absorbée W_r.

$$\mathbf{W_r = m\ g\ h_f}$$

Avec : **m** : masse du pendule

h_i : hauteur initiale

h_f : hauteur finale après rupture

g : apesanteur terrestre

- La déférence entre ces deux énergies égale à **W** énergie absorbée par la rupture celle-ci définie la résilience du matériau testé, exprimée en Joule ou en Joule /cm^2 si on rapporte à la section droite sous entaille.

$$W_0 - W_r = W$$

$$KCV = \frac{\text{energie absorbée par la rupture}}{\textit{surface sous entaille}} \qquad [\text{Joule / cm}^2]$$

I.4.1.1 Les éprouvettes de résilience

a) Eprouvettes CHARPY U

Une éprouvette est un barreau usiné de section carrée de 10 mm de côté et dont la longueur est 55 mm L'entaille de 2 mm de largeur et de 5 mm de profondeur se termine par un fond cylindrique de 1 mm de rayon. La résilience est alors mesurée et précisée selon le symbole **KCU.**

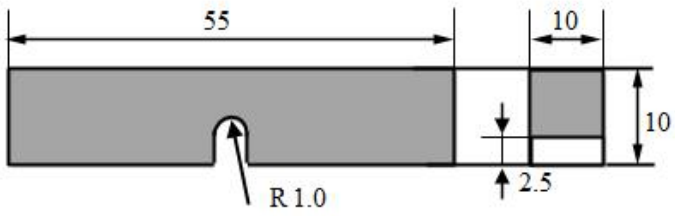


Figure 1.4 : éprouvette Charpy en U.

b) Eprouvettes CHARPY V

Pour un essai avec une éprouvette Charpy V, l'éprouvette sera entaillée en V de 2 mm de profondeur et avec un angle de 45° dont les dimensions sont les mêmes que pour les éprouvettes Charpy U. On précise par le symbole **KCV**.

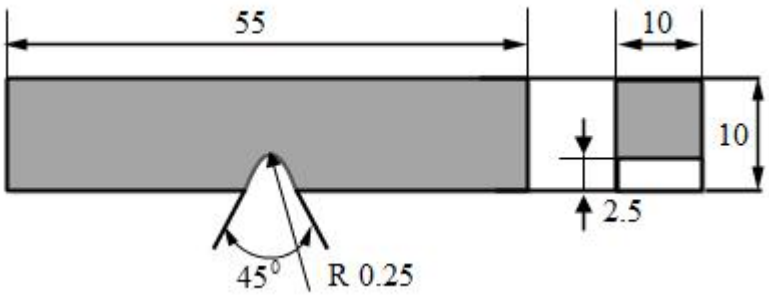


Figure 1.5 : éprouvette Charpy en V.

I.4.2 La dureté [15]

L'essai de dureté sert à caractériser la résistance à la déformation plastique d'un matériau non fragile à l'aide d'un essai simple et rapide. La dureté est définie comme la résistance opposée par l'éprouvette à la pénétration d'un corps plus dur.

Comme la géométrie de l'écoulement plastique lors d'un essai de dureté est complexe, l'essai de dureté n'est pas considéré comme une analyse du comportement mécanique d'un matériau au même titre que l'essai de traction. L'essai de dureté ne fournit qu'une seule valeur. En revanche, l'essai est très simple à réaliser, n'utilise pas de machine coûteuse et n'exige pas l'usinage d'une éprouvette, puisqu'une surface plane de quelques mm^2 suffit. En résumé ,c'est un essai bon marché et souvent employé pour des essais comparatifs de séries d'éprouvettes et pour examiner les effets des divers traitements thermiques, thermomécaniques ou thermochimiques.

I.4.2.1 Types d'essais de dureté

a. Essai de dureté Brinell

Dans l'essai proposé par Brinell, le pénétrateur est une bille polie en acier trempé ou en carbure de tungstène. Son diamètre D vaut normalement 10 mm, mais aussi 5 mm, 2,5 mm et 1 mm Elle est appliquée sur le métal avec une charge F (normalement 3000 kgf). Après suppression de la charge, elle laisse dans le métal une empreinte circulaire permanente dont on mesure le diamètre d, d'autant plus grand que la bille a pénétré plus profondément dans le métal, donc que celui-ci est moins dur. La dureté s'exprime par le rapport de la charge F à la surface S de la calotte sphérique imprimée dans le métal :

$$HB=\frac{2F}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})}X0,102$$

L'exécution de l'essai Brinell demande une surface plane, usinée ou meulée. Son état de surface doit permettre une lecture aisée du diamètre de l'empreinte : plus ses dimensions seront faibles, plus l'état de surface devra être soigné **[7].**

- **Déroulement de l'essai Brinell**

On applique la charge normalement à la surface et sans choc, en la faisant croître progressivement de manière à atteindre en 15 s la charge fixée. On la maintient pendant 10 à 30s, on décharge et on mesure le diamètre de l'empreinte. Des précautions sont également à prendre pour éviter une déformation de la pièce :

- La distance du centre de l'empreinte au bord de la pièce ne doit pas être inférieure à 2.5 d.
- La distance entre les centres de deux empreintes voisines doit dépasser quatre fois leur diamètre.
- L'épaisseur de la pièce doit être d'au moins huit fois la profondeur de l'empreinte pour éviter aucune déformation visible sur la face opposée **[8].**

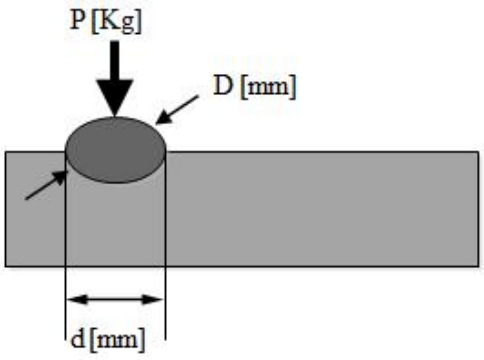


Figure 1.6 : Principe de dureté brinell.

D : diamètre de la bille (mm).
d : diamètre de l'empreinte (mm).
h : profondeur de l'empreinte.

b. Essais de dureté Rockwell

L'essai consiste à mesurer la profondeur de l'empreinte d'indenteur de forme géométrique conique (figure 1.8), ou bien sphérique (figure 1.7) appuyé sous faible charge, sur la surface à essayer et dans des conditions bien précisées. Le pénétrateur conique est de diamant de section circulaire, d'angle au sommet 120°, à pointe arrondie sphérique (rayon de 0,2 mm) **[9].**

Le pénétrateur sphérique est une bille d'acier trempé polie de diamètre 1,588 mm ou 3.175 mm (figure 1.7).La valeur de dureté est donnée par la formule suivante :

- Echelle B, E et F : HRB= 130- r.
- Echelle C : HRC = 100 –r.

Des précautions opératoires sont également à prendre, tel que ; le fini superficiel de la pièce doit être satisfaisant et la pièce doit bien reposer sur son support pour éviter le déplacement du métal dans la région où se forme l'empreinte . Les chocs et les vibrations doivent être évités. L'essai se déroule en trois phases:

- Application sur le pénétrateur d'une charge initiale F0= 98 N (soit 10 kgf). Le pénétrateur s'enfonce d'une profondeur initiale I. Cette profondeur étant l'origine qui sera utilisée pour mesure la dureté Rockwell ;
- Application d'une force supplémentaire F1. Le pénétrateur s'enfonce d'une profondeur de p ;
- Relâchement de la force F1 et lecture de l'indicateur d'enfoncement (figure 1.7) **[10].**

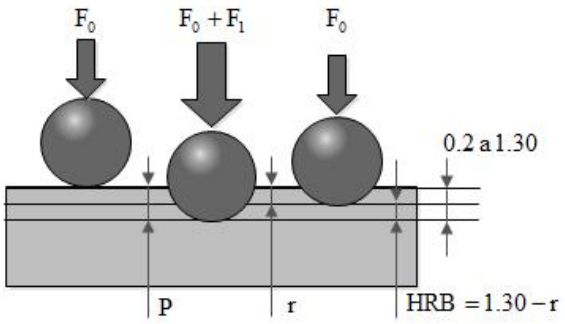


Figure 1.7 : Principe de la dureté Rockwell (échelle B, bille en acier)

I : pénétration initiale avant charge additionnelle ;
P : pénétration avec charge additionnelle ;
R : pénétration rémanente sans la charge additionnelle.

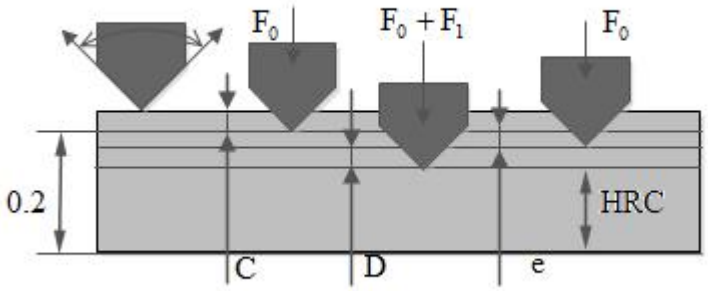


Figure 1.8 : Méthode de Rockwell (cône).

c. Essai de dureté Vickers

Il consiste à imprimer dans le métal testé un pénétrateur en diamant de forme géométrique pyramidal à base carrée, d'angle au sommet entre deux faces opposées de 136°, sous l'action d'une force connue (figure 1.9). On mesure la diagonale de l'empreinte carrée laissée par le pénétrateur **[11].**

L'avantage d'un pénétrateur pyramidal (comme d'un pénétrateur conique) est quand on fait varier la charge, on obtient des empreintes géométriquement semblables entre elles, donc des valeurs identiques pour la dureté. Généralement la gamme des forces utilisables (5 à 100 kgf) permet d'appliquer cette méthode avec toutes les dimensions d'échantillons.

En choisissant la force donnant une empreinte telle que la diagonale d doit être inférieure aux deux tiers de l'épaisseur **[12].**

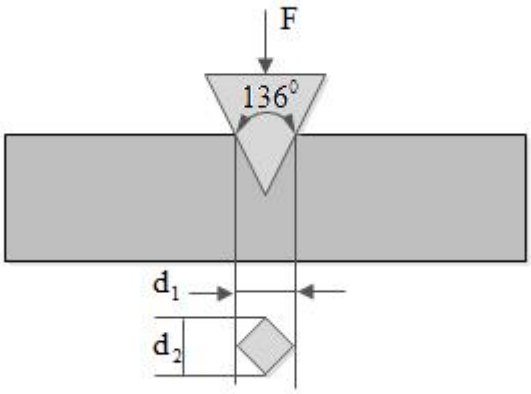


Figure 1.9 : Principe de dureté Vickers.

Dans l'essai Vickers, une pyramide à base carrée en diamant est utilisée comme pénétrateur. La dureté Vickers HV est définie par **[13]** :

$$HV = \frac{\text{la charge appliqué}}{\text{la surface de l'empriente}}$$

$$HV = \frac{2F \sin 68}{gd^2} = 1.5844\frac{P}{d^2} = 0.189\frac{F}{d^2}$$

$$\text{Avec : } d = \frac{d_1+d_2}{2}$$

F : La charge appliquée au pénétrateur en (N) ;
d : Le diagonale moyen de l'empreinte en (mm).

Des précautions opératoires nécessaire de l'essai Vickers tel que : Les empreintes étant petites, les irrégularités de la surface prennent une importance plus grande encore que dans les essais précédents, particulièrement pour les fortes duretés et les faibles charges aussi parfait. La distance entre le centre d'une empreinte et le bord de la pièce ou les côtes d'une autre empreinte ne doit pas être inférieure à 2,5 fois la diagonale. L'épaisseur de la pièce doit être supérieure à 1,5 fois la diagonale de l'empreinte. La pièce doit reposer sur le support de façon régulière et uniforme. L'état du diamant doit être fréquemment vérifié **[14].**

Chapitre II

Matériaux & techniques expérimentales

II.1 Présentation du matériau

II.1.1 L'acier A60 (désignation selon la norme AFNOR : Association Française de Normalisation)

Selon cette désignation l'acier A60, est un acier qui présente une résistance minimale à rupture a la traction de 60Dan/mm^2 (A pour acier ordinaire). Selon la nouvelle désignation, cet acier est représenté par l'écriture S335 (S pour acier d'usage général et 335 pour la valeur moyenne de sa limite d'élasticité, soit 335 MPa).

C'est un acier hypoeutectoide de classe mi-dur à 0,4% de carbone en moyenne. Le tableau (2.01) fournit par le fabriquant de cet acier (''ACCIAIRIE VENETE SPA '') pour l'Unité Grue de Bejaia rassemble la composition chimique et les caractéristiques mécaniques en traction. Ces caractéristiques concernent la limite d'élasticité supérieure Re, la résistance à la traction Rm.

Tableau 2.1 : certificat d'analyse chimique et mécanique d'acier A60.

Re [MPa]	Rm [MPa]	A%	Eléments d'alliages [%]
413	660	23.0	**C** 0.4442
			Si 0.2580
			Mn 0.7035
			P 0.0065
			S 0.0113
			Cu 0.2286
			Cr 0.0965
			Ni 0.1520
			V 0.0028
			Mo 0.0405
			Al 0.0235

II.2 Réalisation des barreaux métallique pour le traitement thermique de normalisation

II.2.1 Préparation des barreaux métallique

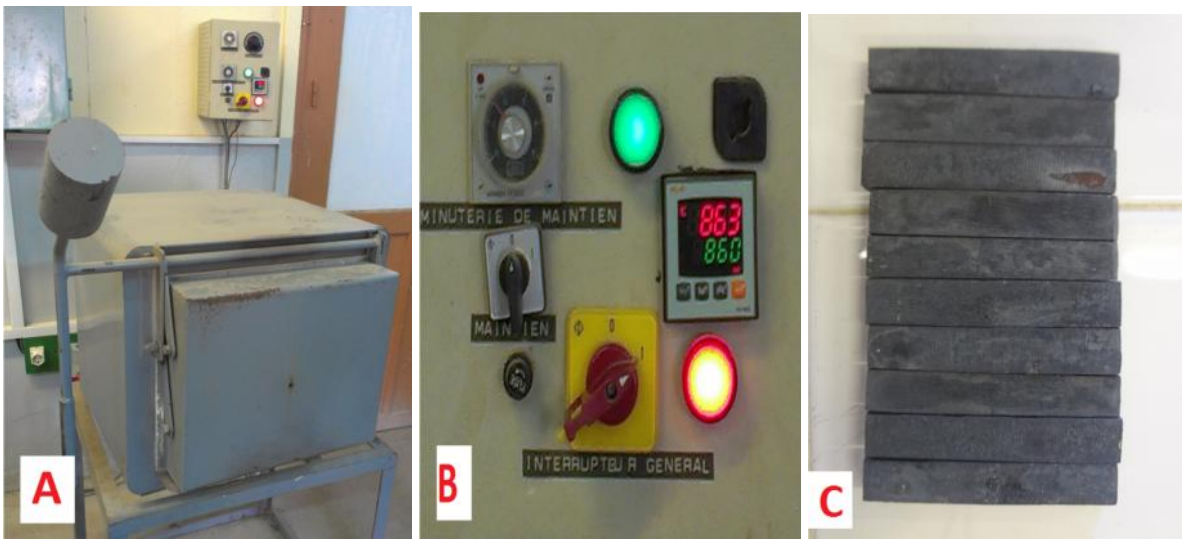
Dans le brute de livraison quatre plaquettes de tôle en acier A60 de dimensions (80 X 80 X 10mm^3), c'est-à-dire L=80mm, I=80mm et e=10mm. Chacune des plaquettes est ensuite découper en cinq barreaux parallélépipédiques à l'aide d'une scie mécanique.



Figure 2.1 : (A) plaquettes de tôle en acier A60, (B) scie mécanique sous lubrification.

II.2.2 Traitement thermique de normalisation

Le traitement thermique de normalisation a été effectué avec un four à moufle au sein du hall de technologie de l'Université de Bejaia. On a réglé la température du four à 860°C.Dès que la température a été atteinte, on y a introduit dix barreaux pour le traitement et ce pendant 40 minutes afin d'atteindre l'équilibre thermique dans l'ensemble de chaque barreau. Après le temps de maintien nous avons retiré les dix barreaux du four et nous les avons laissé se refroidir à l'air.



Figue 2.2 : (A) four à moufle, (B) indicateur de température du four, (C) les barreaux métalliques après traitement thermique.

II.2.2.1 Principe de traitement thermique de normalisation

- Chauffage jusqu'à la température de 860°C.
- Maintien de cette température pendant 40 minutes.
- Refroidissement à l'air libre.

II.2.3 Préparation des éprouvettes d'essais mécaniques

Les vint barreaux (10 barreaux à l'état brut et 10 barreaux ont subits un traitement thermique de normalisation) sont découpées à l'aide d'une scie mécanique en barreaux de 55mm de longueur pour les essais de résistance aux chocs.



Figure 2.3 : scie tronçonneuse sous lubrification.

II.2.3.1 Prélèvement des éprouvettes d'essais mécaniques

Ces barreaux sont ensuite fraisées jusqu'à une largeur de 10mm tout en veillant à assurer le parallélisme des faces. Les paramètres de fraisage utilisés sont présentés dans le tableau

Tableau 2.2 : paramètres de fraisage pour la réalisation des éprouvettes d'essais mécanique

Machine	Outils de coupe	Vitesse de coupe [Tr/mn]	Vitesse d'avance [mm/mn]	Passe [mm]
Fraiseuse universelle	Fraise 2T Ø 60mm	Ebauche 350 Finition 500	Ebauche 32 Finition 50	Ebauche 0,5 Finition 0,3

Ces éprouvettes ont été ensuite poli sous aspersion d'eau avec du papier abrasif de différentes granulométrie (180, 280, 380, 400, 600, 800, 1200, 1500, 2000) pour l'obtention d'un bon état de surface sans écrouissage superficielle.

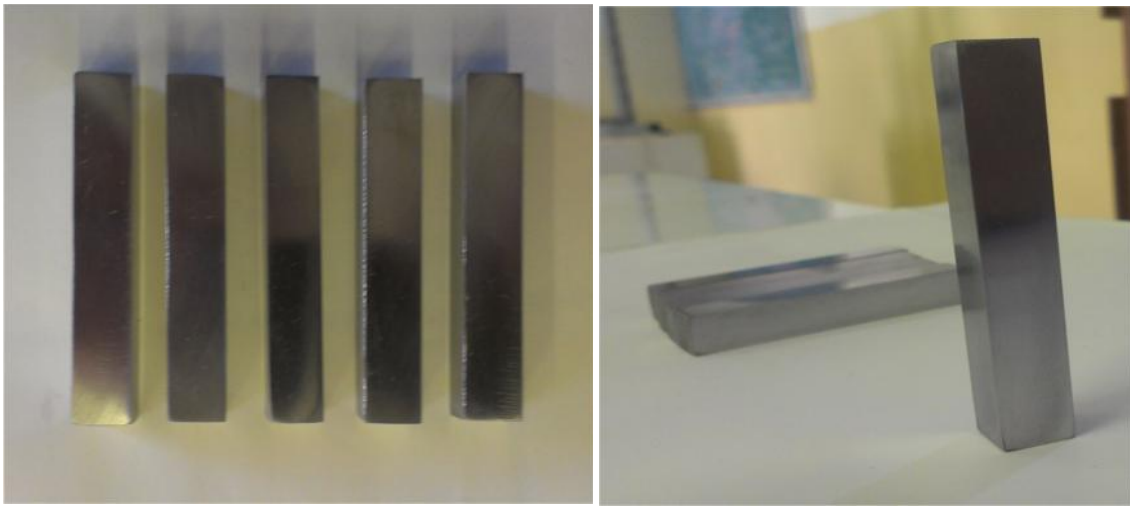


Figure 2.4 : état de surface après polissage des éprouvettes d'essais mécanique.

II.2.3.2 Réalisation des éprouvettes de résistance au choc (résilience)

Pour les essais de résilience, la réalisation d'entailles V de 2mm de profondeur au milieu des éprouvettes a été possible en procédant à l'inclinaison à 45° de la broche de la fraiseuse sur laquelle est montée une fraise type 3T de diamètre 25mm.

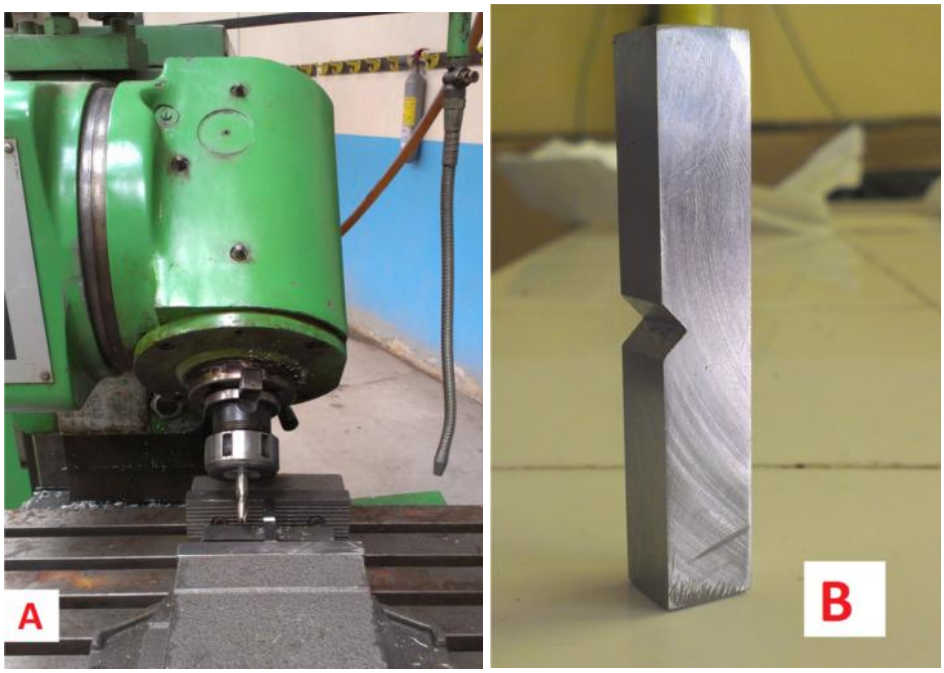


Figure 2.5 : (A) broche de fraise inclinée à 45°, (B) éprouvette de résilience en entaille V.

II.3 Présentation des essais mécanique utilisés dans notre étude :

II.3.1 Essai de résistance aux chocs (résilience)

Les essais de résistance aux chocs (résilience) ont été réalisé sur le mouton pendule Charpy de l'Unité Grue de Bejaia (cf. figure 2.6). C'est un mouton pendule équipé d'un marteau à couteau oscillant dans un plan verticale autour d'un axe O. la capacité de ce mouton est de 300 Joule, la montre à aiguille (cadran) est le système permettant de mesurer l'énergie de rupture de l'éprouvette.



Figure 2.6 : mouton pendule de l'UGB.

- **Principe de l'essai**

La charge résulte d'un choc causé par la masse (marteau), abandonnée à elle –même à partir d'une position armée à une hauteur bien définie (fixe) h_i, afin d'heurter l'éprouvette placée au bas de l'appareil. L'éprouvette est de section rectangulaire 10 mm X 10 mm, avec entaille en V 45°. Après la libération du marteau, un couteau monté sur celui-ci vient frapper l'éprouvette et la rompt à l'entaille, qui devient un point de concentration des contraintes lors de ce choc à haute vitesse. La masse poursuit son mouvement et s'élève à une hauteur h_f inferieure à h_i. L'énergie absorbée, calculée à partir de la différence entre ces deux hauteurs**.**

II.3.2 Essai de dureté brinell HB

Il consiste à imprimer dans le métal testé un pénétrateur d'une forme d'une bille polie en acier trempé ou en carbure de tungstène. Son diamètre D varie entre (1 et 10 mm) , elle est appliquée sur le métal avec une charge F (N) qui est choisie dans une gamme normalisée adaptée à D et matériau testé, dans notre cas F = 187,5 N et D = 2,5 mm Après suppression de la charge, elle laisse dans le matériau une empreinte circulaire permanente dont on mesure le diamètre d. les essais ont été réalisés sur une machine de dureté universelle Diastor de l'UGB. La dureté Brinell s'exprime par le rapport de la charge F à la surface S de la calotte sphérique imprimée dans le métal.



Figure 2.7 : machine de dureté universelle Diastor de l'UGB

- **Principe de l'essai**

Le principe de l'essai consiste à appliquer une charge progressive sur la surface polie de l'échantillon, pendant 15 s suivie d'une décharge. La valeur mesurée et le diamètre d de l'empreinte imprimé dans l'échantillon

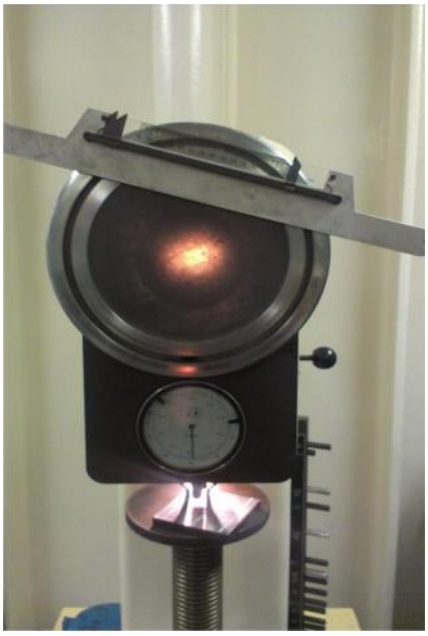


Figure 2.8 : empreinte de dureté brinell

Cette valeur correspond à une dureté qu'on retrouve à l'aide des tables de dureté standardisées et prédéfinies. Ces valeurs de dureté recensées dans ces tableaux en fonction de la charge utilisée sont issues de calcules en utilisant la relation suivante :

$$HB=2F/\pi D\ (D-\sqrt{D^2-d^2})\ x\ 0,102 \qquad F\ [N];\ D,\ d\ [mm]$$

Cette opération est répétée plusieurs fois pour examiner l'homogénéité ou pas de l'échantillon.

II.4 Examens Métallographiques

L'examen métallographique à pour but la mise en évidence de la microstructure de l'échantillon. L'analyse micrographique de fait sur des surfaces polies attaquées chimiquement. L'obtention de ces surfaces nécessite une suite d'opérations allant du prélèvement des échantillons à l'attaque chimique. Dans ce qui, nous donnons le détail de chaque opération.

II.4.1 Prélèvement des échantillons

Pour l'examen métallographique nous avons prélevé un échantillon à l'état brut de livraison et un échantillon traité thermiquement d'acier A60 utilisée précédemment lors de nos essais mécaniques.

II.4.2 Polissage

Après le découpage, nous passons les éprouvettes sur une surfaceuse à disque abrasif (polisseuse). C'est une opération mécanique qui permet d'avoir des états de surface semblable à celui d'un miroir. Ce polissage s'effectue en plusieurs étapes avec des disques en papiers abrasifs de différentes granulométries des grains abrasifs en carbure de silicium (du plus gros au plus fin : 180, 400, 600, 800, 1000, 1200, 2400, 4000) qui tournent avec une vitesse de 150 tr/mn, cette opération se fait sous aspersion d'eau pour éviter l'échauffement de l'échantillon.



Figure 2.9 : Polisseuse mécanique

II.4.3 Attaque chimique

Les examens métallographiques nécessitent au préalable une attaque chimique appropriée à chaque nuance pour mettre en évidence les structures. Cette opération donne une différence de couleur entre les différentes phases, car elle est directement liée à la différence de vitesse de réaction des constituants.

Le réactif chimique utilisé pour notre acier (acier mi-dur) est le Nital 4% (4 ml d'acide nitrique et 100 ml d'éthanol) une fois étalée sur la surface de l'échantillon, un temps

de maintien de 2 à 5 seconds est respecté ; cette opération doit être suivie d'un rinçage à l'eau distillée.

II.4.4 Microscope métallographique

L'ensemble des observations métallographiques ont été réalisé au microscope optique qui est équipé d'une caméra CCD, l'ensemble et relié à un ordinateur qui permet le traitement des images.



Figure 2.10 : dispositif du microscope optique piloté par ordinateur (Laboratoire de métallographie département métallurgie Université de Annaba).

II.4.5 Examen au microscope

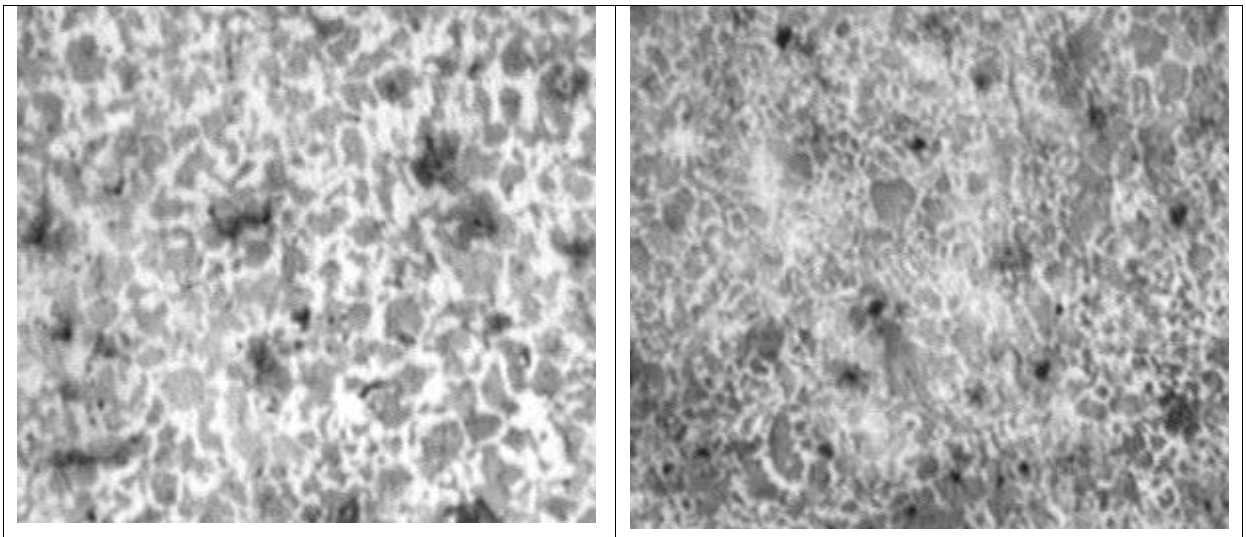
La métallographie microscopique a pour but de mettre en évidence les constituants de la microstructure. La microscopie est faite à l'aide d'un microscope optique utilisant une source lumineuse qui envoie la lumière sur l'échantillon à travers un dispositif optique. Les rayonnements réfléchis par l'échantillon sont repris par la lentille objective qui donne une première image intermédiaire qui grâce à un miroir semi-réfléchissant, elle est renvoyée vers l'œil du manipulateur à travers une lentille oculaire. L'appareil permet également d'obtenir des photos sur un écran à travers une caméra solidaire.

Chapitre III

Résultats & Discussions

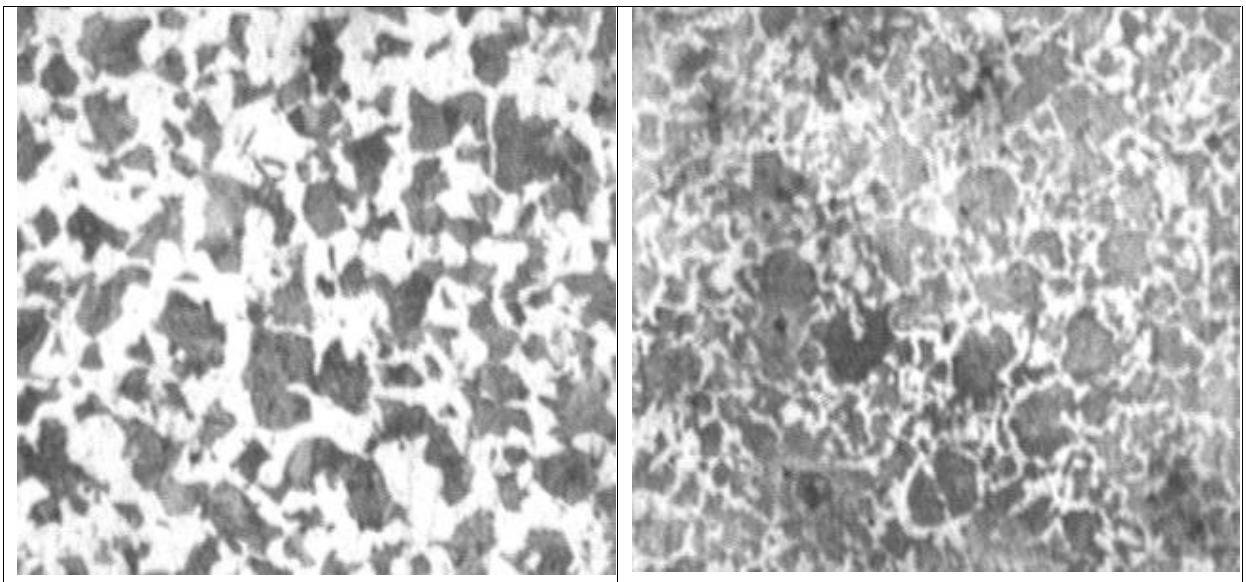
III.1 Résultat de l'observation micrographique

L'observation métallographique met en évidence la présence de grains de ferrite (phases claires) et des grains de perlite (sombre) : cf. figure 3.1. On remarque que la microstructure du brut de livraison est grossière par rapport à l'acier ayant subi le traitement thermique de normalisation : gros grains de perlite de taille hétérogène pour le brut de livraison au contraire de l'acier traité où les grains de perlite sont de taille homogène. Ceci est encore bien mis en évidence pour un grossissement deux fois plus important (figure 3.2) : répartition uniforme de grains de ferrite et de perlite plus fins et répartis uniformément dans l'acier traité.



Brut de livraison G=100x	Après traitement G=100x

Figure 3.1 : Observations microscopiques de l'acier A60 G100x



Brut de livraison G=200x	Etat normalise G=200x

Figure 3.2 : Observations microscopiques de l'acier A60 G200x

III.2 Dureté Brinell

Pour éventuellement mettre en évidence l'homogénéité de notre matériau utilisé dans nos essais. Nous avons réalisé sur nos éprouvettes issues de notre matériau, des séries de mesures de dureté Brinell sous une charge constante de (187,5 N). sur chaque éprouvette. Nous avons pris plusieurs mesures étalées sur toute sa surface. La figure 3.3 rassemble les résultats de ces mesures.

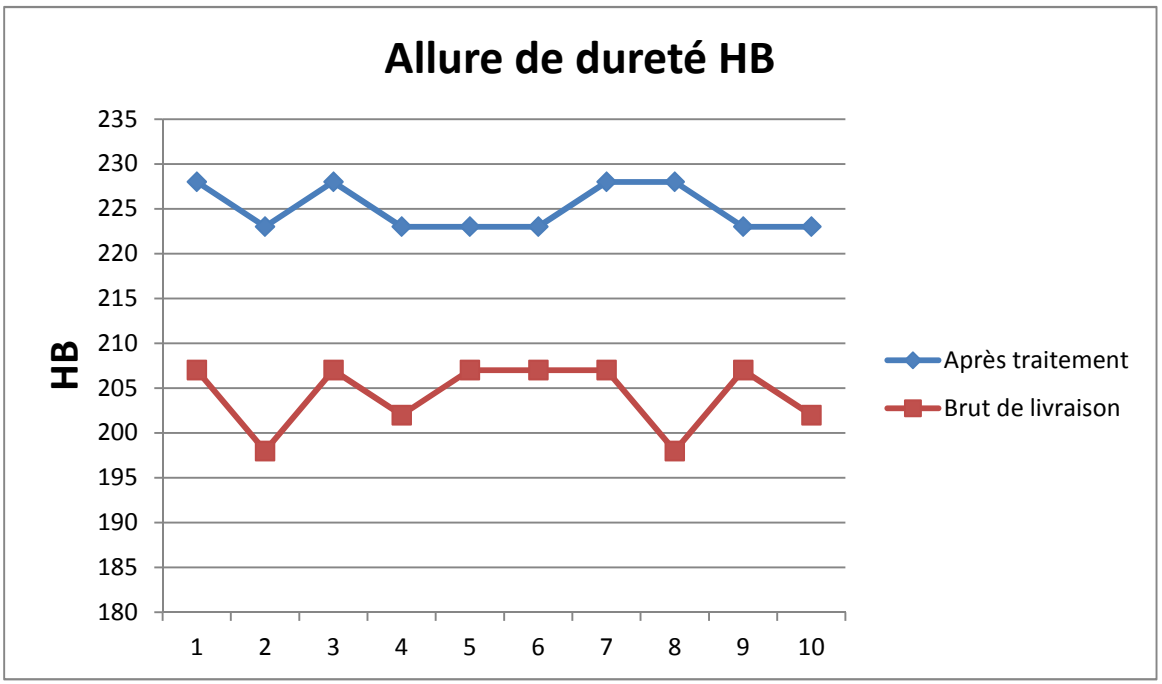


Figure 3. 3 : Filiation de dureté HB effectué sur l'ensemble des éprouvettes avant et après traitement de normalisation

La figure 3.3 montre une dispersion notable des valeurs de dureté issues des éprouvettes à l'état brut de livraison (198-207HB). Ceci est dû à l'hétérogénéité de la structure de matériau à l'état brut (cf. microstructures présentée figures 3.1 et 3.2).

Par contre pour les valeurs de dureté issue des éprouvettes traitées thermiquement, leurs dispersion est plus faible (223-228HB). Ceci est dû à l'homogénéité de la structure après traitement de normalisation.

Comparativement aux valeurs de dureté des éprouvettes à l'état brut, les courbes comparatives obtenues, montre une amélioration considérable des résultats de dureté des éprouvettes ayant subi un traitement de normalisation.

Afin de mettre l'effet positif du traitement de normalisation sur la dureté Brinell (propriété de résistance), nous avons rassemblés nos résultats obtenus sous forme d'histogramme (figure 3.4).

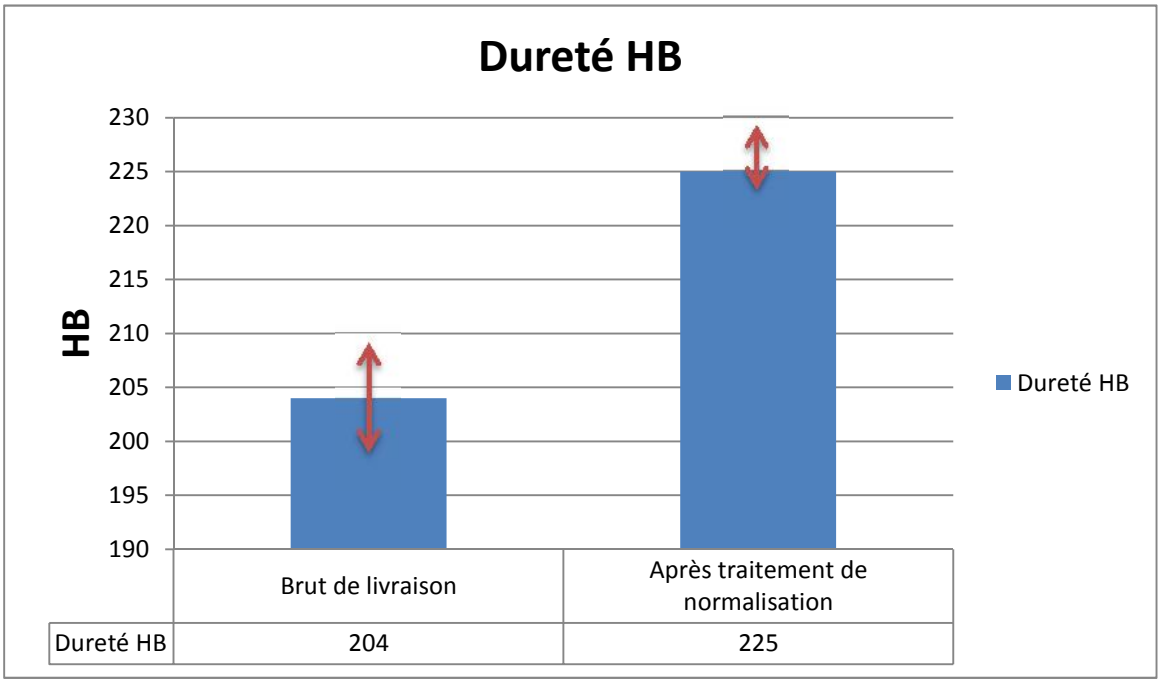


Figure 3. 4 : Filiation de dureté moyenne issue de l'ensemble des éprouvettes avant et après traitement de normalisation

Le traitement thermique de normalisation améliore notablement la dureté Brinell. En effet, la comparaison sur la figure 3.4 permet de constater une augmentation de près de 10% de la valeur moyenne de dureté des dix éprouvettes qui on subit un traitement de normalisation, par rapport à la valeur moyenne de la dureté des éprouvettes brut de livraison.

Cette augmentation de la valeur de dureté est tout à fait attendue pour ce traitement de normalisation du fait que son but est d'homogénéiser avec un affinement des grains de ferrite et de perlite comme nous l'avons remarqué lors des observations micrographiques.

III.3 Essai de résistance aux chocs (Résilience)

La figure 3.5 présente sous forme d'histogramme les dix valeurs de la résilience avec entaille V [KCV] obtenue pour chaque éprouvette de l'acier étudié à l'état brut de livraison. Les dix essais sont pratiquement reproductibles au vu d'un faible écart obtenu sur les valeurs de la résilience KCV.

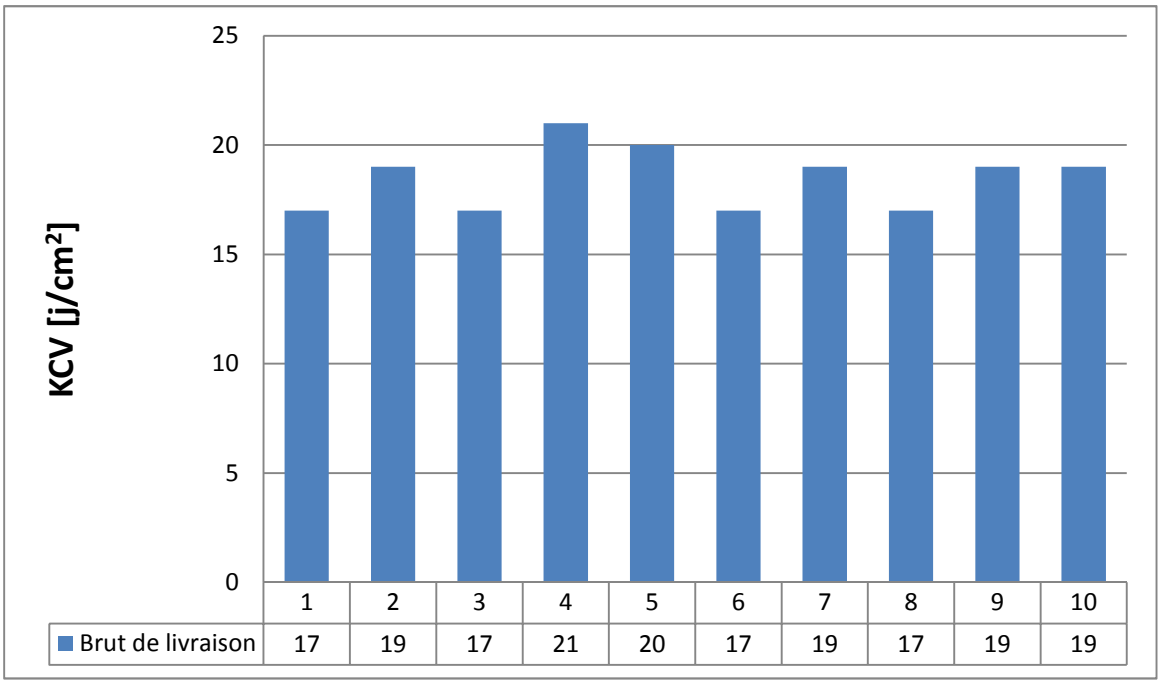


Figure 3. 5 : Histogrammes des dix valeurs de KCV obtenue pour chacune des dix éprouvettes à l'état brut de livraison

La figure 3.6 présente les dix valeurs de résilience obtenue des dix éprouvettes traitées thermiquement.

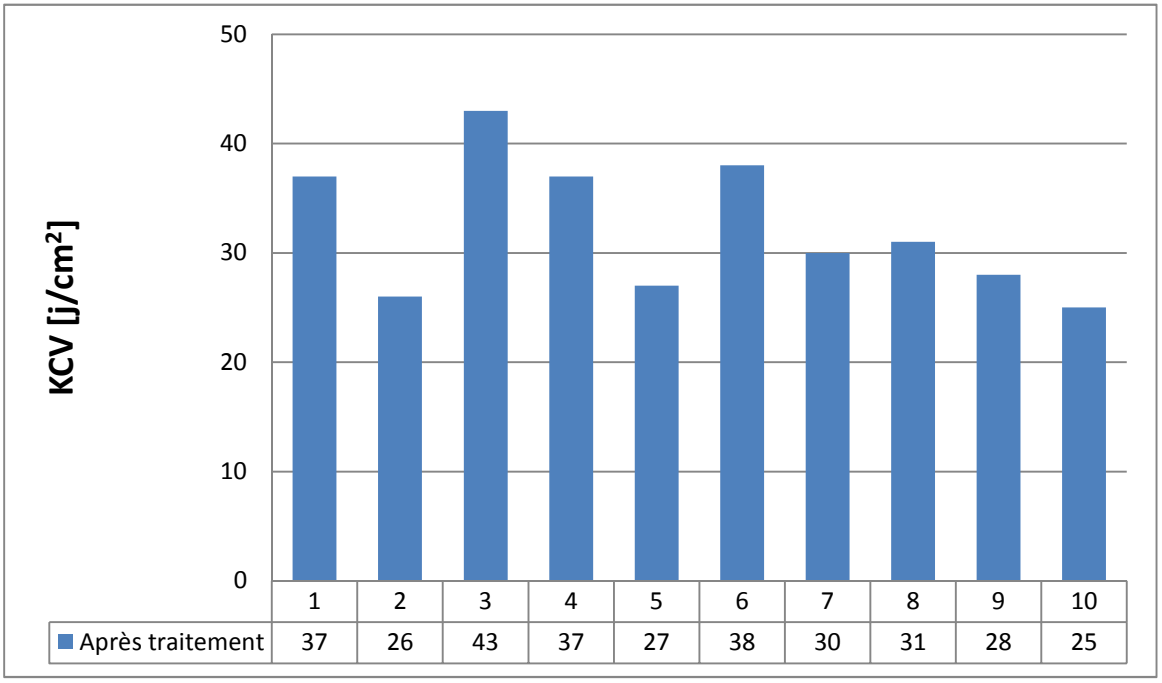


Figure 3. 6 : Histogrammes des dix valeurs de KCV obtenue pour chacune des dix éprouvettes après traitement de normalisation

Il est remarquable de constater une dispersion plus importante (KCV=25-43) par rapport au brut de livraison (KCV= 17-21). Ceci pourrait s'expliquer par le temps de maintien insuffisant qui permettrait une homogénéisation complète et un affinement complet de la microstructure pour les éprouvettes à faible valeur de résilience (KCV= 25-31). Cette dispersion est bien met en évidence dans la figure 3.6. Cette dernière met également en évidence l'effet positif du traitement de normalisation de l'acier A60 brut de livraison sur la résilience.

Nous présentons dans la figure 3.7 la valeur moyenne de la résilience KCV des dix éprouvettes à l'état brut ainsi que les dix éprouvettes traitées thermiquement.

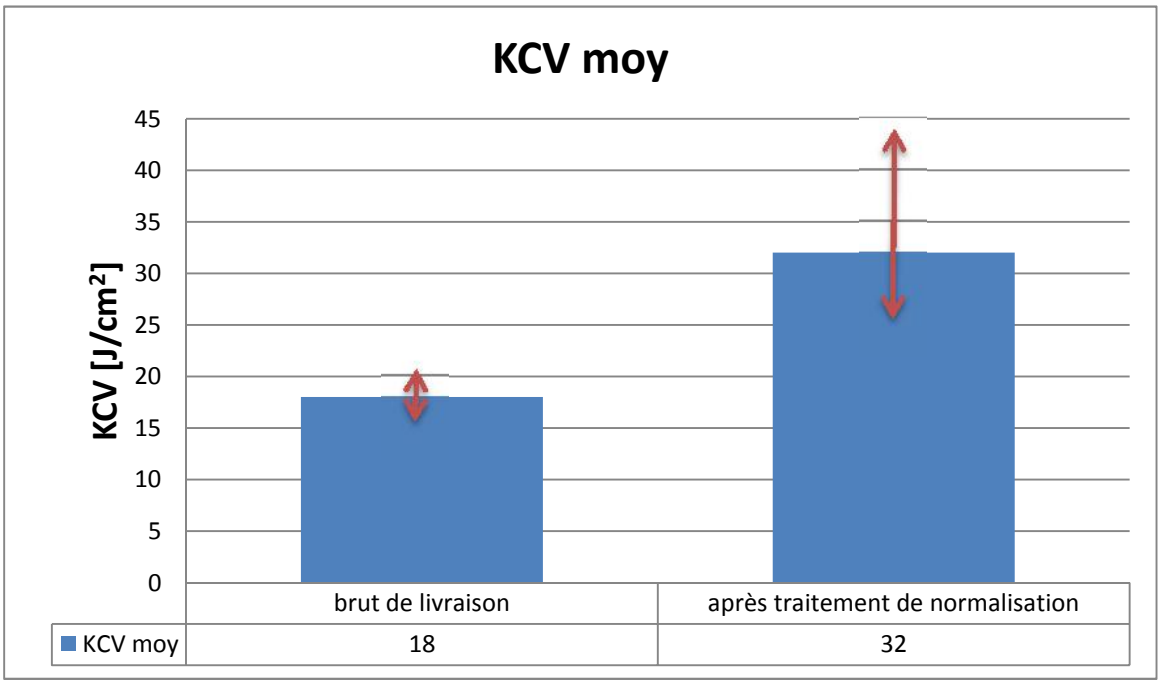


Figure 3. 7 : Valeurs moyennes de la résilience KCV avant et après traitement de normalisation

On constate une augmentation de la valeur de résilience des éprouvettes traitée thermiquement de près de 70% par rapport aux valeurs des éprouvettes à l'état brut de livraison.

III.4 Conclusion

Dans le but de montrer l'effet de traitement thermique de normalisation sur les propriétés de résistance et de ductilité sur l'acier de construction mécanique A60, plusieurs séries d'essais de dureté Brinell ont été réalisées. En ce qui concerne la ductilité, nous avons considéré plusieurs éprouvettes de résistance aux chocs (résilience). A l'état brut de livraison et après traitement de normalisation.

L'analyse des résultats a montré :

- Une amélioration considérable de la valeur moyenne de dureté qui est près de 10%.
- Une augmentation de la valeur moyenne de résilience de près de 70%.

Conclusion générale

Ce travail a porté sur une caractérisation de la microstructure et propriétés mécaniques en dureté et résilience de l'acier A60, utilisé à l'état brut de livraison par l'Unité Grue de Bejaia (UGB) dans la fabrication du châssis de grue.

A l'état brut de livraison, l'acier A60 présente une hétérogénéité de la microstructure donnant lieu à de faibles propriétés mécaniques en dureté Brinell et résilience avec une dispersion notables de leurs valeurs. La dureté Brinell est une propriété de résistance et la résilience représente une propriété de ductilité.

Dans le but d'améliorer ces deux types de propriétés mécaniques, nous avons opté pour un traitement thermique de normalisation très utilisé dans l'industrie mécanique. Il porte sur un chauffage jusqu'au domaine monophasé austénitique (température 860°C) avec un maintien de 40 mn suivi d'un refroidissent à l'air.

L'étude métallographique et les essais mécaniques réalisés sur l'acier brut de livraison et l'acier traité font ressortir les résultats suivants :

- Le traitement thermique de normalisation confère à l'acier une microstructure plus homogène avec des grains de taille moyenne contrairement à l'état brut de livraison.
- Une amélioration en moyenne de 10% sur la valeur de dureté.
- Une augmentation remarquable, de l'ordre de 70%, de la valeur de la résilience (résistance aux chocs).

Références bibliographiques

[1] Livre des matériaux, éditions des écoles polytechniques de Montréal 2eme éditions J.M.DORLOT, J.P.BAILIAN, J.MASCUNARE.

[2] I LAKHTINE. «Métallographie et traitements thermiques des métaux » .Edition Mir, Moscou 1997.

[3] J.BARRALIS et G.MAEDE. « Précis métallurgie » Edition AFNOR.1990.

[4] Saïd Ben Saada **«** traitement thermique classification et désignation des aciers et fontes ».

[5] Essai de rupture, dans matériaux métallique, techniques de l'ingénieur, Paris 1996.

[6] Dupeux Michel, « aide-mémoire science des matériaux », édition DUNOD .2005.

[7] Dominique FRANÇOIS, Essais mécaniques des métaux : Essais de dureté, Technique de l'ingénieur.

[8] D. Tabor, the Hardness of Metals, Clarendon Press Oxford, 1951.

[9] Larsson P. L., Giannakopoulos A. E., Söderlund E., Rowcliffe D.J, Vestergaard R.,

"Analysis of Berkovich Indentation", Int.Jour. Solids Structures, Vol. 33, N°2, pp. 221-

248, 1996.

[10] Jonathan R. TuckU, 1, Alexander M. Korsunsky1, Steve J. Bull, Rob I. Davidson On the

application of the work-of-indentation approach to depth-sensing indentat.

[11] P. KEMPE, Nano indentation et micro rayage en environnement contrôlé Colloque, SF2M Section-Ouest : Surfaces et Interfaces, indentation, rayage et abrasion, Angers, 16 et 17mars 2005.

[12] Bolshakov A. et Pharr G.M., "Influences of pileup on the measurement of mechanical properties by load and depth sensing indentation techniques", Journal of materials research, 13(4), p. 1049, 1998.

[13] Cheng Y.-T. et Cheng C.-M., "Relationships between hardness, elastic modulus, and the work of indentation", Applied physics letters, 73(5), p. 614, 1998.

[14] J-L. Halary, « Introduction à la mécanique des polymères », INPL (1995) 169.

[15] http://www.google.dz/**xA3** dureté.pdf

[16] site web .www.ebookbrowse.com.

[17] acier-construction –présentation www.arcelormital.com.

[18] AKILAL.N « amélioration des propriétés mécaniques d'un acier industriel 25CD4 par le bais des traitements thermiques. Université de Bejaia, 2004.

[19] J.Philibert, A. Vignes, Y.Bréchet et P.Commrade,
Métallurgie du mierai au matériau Masson 1998 Paris.

Tableaux des résultats de dureté brinell HB

Dureté Brinell HB (brut de livraison)					
Les éprouvettes	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	La moyenne
1	211	207	211	207	207
2	195	195	207	195	198
3	202	211	207	207	207
4	202	198	198	195	202
5	207	211	202	207	207
6	207	202	211	207	207
7	202	207	207	211	207
8	198	195	202	198	198
9	207	207	202	211	207
10	207	207	202	195	202

Dureté Brinell HB (après traitement de normalisation)					
Les éprouvettes	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	La moyenne
1	229	224	229	229	228
2	224	224	224	219	223
3	229	229	229	224	228
4	224	219	224	224	223
5	219	224	224	224	223
6	224	224	219	224	223
7	224	229	229	229	228
8	229	229	224	229	228
9	224	224	224	219	223
10	224	219	224	224	223

Résumé

Dans cette étude nous avons tenté d'optimiser l'effet du traitement thermique de normalisation sur les propriétés mécaniques de résistance et de ductilité de l'acier A60 utilisé par l'Unité Grue de Bejaia pour la fabrication des châssis de grues, dirigée par le professeur A.ATI nous a conduit aux résultats rassemblées dans ce manuscrit.

Cette étude nous a permis de conclure que :

- **Le traitement thermique de normalisation confère à l'acier une microstructure plus homogène avec des grains de taille moyenne contrairement à l'état brut de livraison.**
- **Une amélioration en moyenne de 10% sur la valeur de dureté.**
- **Une augmentation remarquable, de l'ordre de 70%, de la valeur de la résilience (résistance aux chocs).**