



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Génie des Matériaux

Présenté par :

ACHEB Noureddine & LAMRI Ahmed

Thème

Caractérisation d'aluminium traité thermiquement par l'essai de traction

Encadreur: BOUDILMI Aissa

Année Universitaire : 2019 / 2020

Remerciements

Je tiens à remercier Dieu de nous avoir donné le courage et la volonté de faire ce mémoire.

J'exprime mes profonds remerciements à l'encadreur de cette mémoire le Professeur BOUDILMI Aissa, pour son aide précieuse, sa confiance ses encouragements.

Mes sincères remerciements vont également aux membres de jury qui ont acceptés de juger ce travail.

Je tiens à remercier aussi Mr Ahmed. pour m'avoir procuré l'alliage Al4,5%Cu.

Sans oublier toutes les personnes qui nous ont aidés dans la réalisation de , en particulier :

- Les responsables des laboratoires de sciences des matériaux et RDM de la faculté de Génie Mécanique.*

Sommaire

Sommaire

Sommaire	1
Liste de tableau.....	4
Liste des figures	5
Nomenclature :	6
Introduction Générale	8

Chapitre I

L'aluminium et ses alliages

I.1. Introduction.....	10
I. 5. Alliage d'aluminium	14
I. 6. Désignation des alliagesd'aluminium.....	15
I. 7. Les alliages d'Aluminium de la série 6000(Al-Mg-Si).....	21
I. 8. Caractéristiques des alliages d'aluminium série6XXX.....	22
I. 9. Spécificité de l'alliage 6061	24
I.10.Les applications de l'aluminium.....	27
I.10. 1. Les différents domaines d'utilisation.....	27
I.10. 2.L'aluminium, un métal renouvelable.....	29
I. 11. Conclusion	31
Références :	32

Chapitre II

Traitements thermiques

II. Généralité.....	35
I. Importance des traitements thermiques pour aluminium :	35
II.1. Principaux type de traitements thermiques:	36

II.1.1. Traitement d'homogénéisation :	36
II.1.2 Traitement d'adoucissement :	36
II.1.3. Traitement de trempe structural:	37
a). Mise en solution :	37
b). Trempe:	38
I.4.1. Four de trempe:	38
c). Maturation (vieillissement naturel) :	39
d). Revenu (vieillissement artificiel):	39
I.4.2. Four de revenu (Figure.II.7).	39
Le but de revenu :	40
2.3.5. Recuit :	40
II. Traitements thermiques des alliages d'aluminium:	40
III.1. Cycle thermique :	41
Chauffage (courbeOA):	41
Le maintien (droite AB):	41
Refroidissement (courbe BC):	41
Remarque :	41
Milieux de refroidissement :	42
IV. Microstructure:	42
IV.1. La macrographie:	42
IV.2. Lamicrographie:	43
IV.2.1. Observation par microscopie :	43
a-Observation par microscope optique:	43
IV.2.2 : Importance de la métallographie :	43

Chapitre III

L'essai de traction uni-axiale

Introduction :	45
III.1. Les essais mécaniques :	45
III.I.1 Les essais mécaniques unis axiaux:	46
Courbe de traction:	48
Domaine OE:	49
Domaine ER:	49
Domaine RS:	50
Caractéristique mécanique de l'essai de traction :	50
Allongement à la rupture:	50
Procédé de caractérisation de matériau par traction uni-axiale	52

Chapitre IV

Procédé de caractérisation de matériau par traction uni-axiale Introduc

1. Description générale de la machine de traction	53
2. Utilisation de la machine WP310	54
2.1. entraînement hydraulique :	55
2.2. Mesure de déplacement et la force	55
3. Acquisition de données assistées par ordinateur	56
4. Interface utilisateur	56
5. Eprouvettes	57
6. Procédure de l'essai de traction	58
Conclusion générale	61
Bibliographies	66

Liste de tableau

Chapitre I

L'aluminium et ses alliages

Tableau I.1.Production mondiale d'aluminium. (Source : Larousse de l'industrie).....	12
Tableau .I.2.Familles d'alliages d'aluminium	15
Tableau I.3 - famille d'alliages d'aluminium corroyés.....	16
Tableau .I.4. Indique les groupes de l'alliage d'aluminium.	17
Tableau .I.5.indique Désignation des états métallurgiques des produits corroyés	18
Tableau .I.6.famille d'alliages d'aluminium moulé.....	18
Tableau .I.7. Indique les renseignements complémentaires	20
Tableau.I.8.composition des alliages 6060-6082-6101(Les concentrations sont en pourcentage massique).....	23
Tableau.I.9.caracristiques physique des alliages 6060-6082.....	23

Liste des figures

Chapitre I

L'aluminium et ses alliages

Figure.I.1. Diagramme : Production de la fonderie BARBAS & PLAILLY des pièces en alliages d'aluminium pour différents secteur d'activités..... 29

Figure. I.2.Diagramme: Pourcentage des emballages recyclés..... 30

Chapitre II

Traitements thermiques

Figure.II.1 : Four de trempe 38

Figure II.2: Etuve utilisée..... 40

Figure.II.3: Cycle thermique..... 41

Chapitre III

L'essai de traction uni-axiale

Figure (III.1) : Forme d'éprouvette cylindrique..... 48

Figure (III.2) : Forme d'éprouvette cylindrique après rupture 48

Figure.III.3.Courbe de traction..... 49

Chapitre IV

Procédé de caractérisation de matériau par traction uni-axiale

Introduc

Figure(IV.1) : vue globale de la machine WP 310 54

Figure(IV.2) : Utilisation de la machine WP310 55

Figure(IV.3) : Affichage de déplacement et la force 55

Figure (IV .4): System d'acquisition de données de la machine d'essai WP 310..... 56

Figure(IV.5) : Fenêtre principale 57

Figure(IV.6) : Epreuve plate 58

Figure(IV.7) : Eprouvette cylindrique.....	58
Figure (IV.8) : fichier d'enregistrement des courbes.....	59

Nomenclature :

σ_e : résistance limite élastique

σ_r : résistance à la rupture

$A\%$: coefficient d'allongement

F : la force

ΔL : la longmont

S : Section initiale (mm^2)

L : longueur initiale

Re : la résistance limite élastique

E : Le module d'Young (module d'élasticité longitudinale).

F_0 : la force initiale

R : la résistance de mecanique

L_u : longueur ultime (mesurée en raboutant les deux morceaux de l'éprouvette cassée).

S_u : Section ultime en mm^2 (mesuré à l'endroit de la cassure de l'éprouvette cassée).

$Z\%$: Valeurs de Coefficient de striction

d_0 : diamètre initial

L_0 : longueur de référence

L : longueur calibrée

V : La vitesse

Introduction générale

Introduction générale

Introduction Générale

En général, les différents types des matériaux et les métaux en particulier prennent une place importante dans tout développement technologique. Vu les exigences industriel et médicale moderne, nombreux études de recherches sont en cours pour le développement d'autres matériaux plus performants et moins coûteux tels que les composites, les céramiques, les polymères...etc, mais les alliages métalliques occupent toujours une place importante, car les caractéristiques de ces derniers s'améliorent de jour en jour grâce aux nombreuses recherches.

L'aluminium à l'état pur présente de faibles propriétés physiques et mécaniques. Cependant, l'ajout d'éléments d'addition et l'application de traitements thermiques provoquent des hauts changements des caractéristique d'aluminium

L'alliage est alors généralement plus résistant mais aussi moins ductile que l'aluminium pur. Il existe deux grandes familles d'alliages d'aluminium ; alliage de moulage et alliage corroyé qui diffèrent par leurs éléments d'addition principaux;

La faible masse volumique des alliages d'aluminium associée à leurs bonnes caractéristiques mécaniques intéresse l'industrie du transport (ferroviaire, navale, routière, aéronautique). Ainsi actuellement, les alliages Al-Mg-Si filés (série 6000) sont fortement utilisés pour réduire le poids des véhicules et par conséquent faire des économies d'énergie. Le travail de ce mémoire repose sur quatre chapitres, dont la répartition est la suivante:

Le premier chapitre aborde le côté matériau concernant l'évolution de l'aluminium et ses alliages et les zones d'utilisation ainsi que les caractéristiques l'alliage d'aluminium série 6000.

Le deuxième chapitre traite les différents traitements thermiques de l'aluminium et ses alliages

Dans le troisième chapitre, nous avons fait la description et le protocole de l'essai de traction uni-axiale

En fin, nous avons achevé ce mémoire par un quatrième chapitre, dont nous avons présenté la machine hydraulique d'essais de traction et les procédés d'essais de traction par l'intermédiaire de cette machine.

Chapitre I : L'aluminium et ses alliages

I.1. Introduction

L'aluminium est l'élément métallique le plus abondant dans la nature, en quantité. La production annuelle mondiale de ce métal représente 25 millions de tonnes. Son abondance dans la croûte terrestre vient au troisième rang, derrière l'oxygène et le silicium (éléments non métalliques) et au premier rang des métaux. Le principal minerai d'où est extrait l'aluminium est la bauxite.

L'aluminium élément chimique, appartient au groupe III A (colonne 13) du tableau périodique. Sa position de premier métal non ferreux repose bien évidemment sur ses propriétés particulières.

A l'heure actuelle, l'aluminium est utilisé dans de nombreux secteurs comme les transports, l'emballage, la construction ou encore les biens de consommation. Sa généralisation vient des propriétés remarquables du métal mais aussi de la variété de ses alliages. Les principaux atouts de l'aluminium sont [1]:

sa légèreté (le plus léger des matériaux usuels : $\rho_{Al}=2,7\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$),

sa conductivité thermique (environ 60% de celle du cuivre) $237\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,

sa conductivité électrique $0,0265\ \mu\Omega \cdot \text{m}$ à 20°C ,

sa facilité de mise en œuvre,

son recyclage (entre 65% et 85% de l'aluminium est recyclé),

son aptitude aux traitements de surface,

sa résistance à la corrosion.

L'aluminium est l'un des principaux composants des alliages communs utilisés dans différentes applications. Lorsqu'il est allié avec des petites quantités d'autres matériaux, il devient essentiel et valable en raison de sa haute résistance spécifique et sa faible densité. Il est classé en tête de la liste des métaux les plus utilisés dans l'industrie d'aujourd'hui. Sa légèreté par rapport à l'acier est l'un de ses principaux atouts. Sa solidité et sa résistance mécanique, bien que légèrement inférieures à celle de l'acier, permettent de l'utiliser dans de nombreuses applications à savoir : l'aérospatial, l'aéronautique, l'automobile, les câbles électriques, l'agroalimentaire, les réacteurs

nucléaires et le bâtiment.

I. 2. Historique [2]

I. 2. 1. Les découvertes du XIXe siècle

A l'état naturel, l'aluminium pur n'existe pas. Très abondant dans la nature, ce métal se présente sous forme de silicates, argiles, kaolin, feldspaths, d'hydroxydes etc.. Il est découvert en 1808 par le physicien anglais Humphry

Le chimiste français Henri Saint-Claire Deville, dans son laboratoire de l'Ecole Normale Supérieure à Paris, prépara en 1854 de l'aluminium en quantité, susceptible d'être utilisable industriellement. Son procédé consistait à partir du chlorure double d'aluminium qu'il attaquait par du sodium. Jusqu'en 1886, cette méthode de laboratoire fut sa seule utilisée pour produire de l'aluminium

Selon le procédé de Saint-Claire Deville, une exploitation industrielle commence en 1856 dans une usine située à Paris. Quand en 1860 l'ingénieur Berthier ouvre l'usine de Salindres (Gard), berceau de la Compagnie d'Alès, Frogès et Camargue, la production augmente sensiblement.

Un lingot du métal précieux est montré à l'Exposition universelle de Londres en 1853 et à celle de Paris en 1855.

La bauxite d'où on tire l'aluminium doit son nom à la localité des Baux de Provence, près d'Arles où le minerai d'hydroxyde d'alumine fut découvert en 1821 par Berthier.

Cet hydrate d'alumine impur ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) contient de l'alumine, de la silice, de l'oxyde de fer et de l'acide titanique.

Le 23 avril 1886, le jeune chimiste français Paul Louis Toussaint Héroult (1863-1914) dépose un brevet permettant d'obtenir de l'aluminium par un nouveau procédé, l'électrolyse de l'alumine dissoute dans la cryolithe, en même temps que l'Américain Charles Martin Hall (1863-1914) utilisant le même procédé. En deux ans, dans toute l'Europe, aux Etats-Unis et au Canada des brevets sur les procédés d'obtention de l'aluminium sont déposés (Figure. I.3).

En 1887, Carl-Joseph Bayer fait breveter un procédé de transformation du minerai de bauxite et alumine. A partir de 1890, toute l'Europe et l'Etats –unis produisent le métal précieux.

A partir de 1890, la production mondiale fait un bond en avant spectaculaire et le prix au kilo s'effondre (Tableau.I.1).

Tableau I.1. Production mondiale d'aluminium. (Source : Larousse de l'industrie).

Production mondiale d'aluminium	En tonne	Prix du kg
1880	12	150 F
1890	165	5 F
1900	7 800	4 F
1910	43 800	2,85 F
1920	158 000	2,6 F
1930	280 000	2 F anciens

En 1930, moment où la construction d'avions passe au tout métal, les pays qui produisent l'aluminium sont, par ordre d'importance les Etats-Unis (90 000 tonnes), le Canada (35 000 tonnes), la France (32 000 tonnes), l'Allemagne (30 000 tonnes), la Norvège (25 000 tonnes) et la Suisse (20 000 tonnes). La France où cette industrie est née n'occupe plus que la troisième place

I. 3. L'aluminium :

L'aluminium est un métal blanc tirant légèrement sur le bleu, dont on obtient facilement un beau fini poli. Il vient au second rang des métaux les plus employés après l'acier. Il est léger, robuste, facile à usiner, économique et résistant à la corrosion. L'aluminium n'est pas magnétique, il est bon conducteur de chaleur et d'électricité. Il est un élément métallique du troisième groupe de classification de Mendeleïev, dont le nombre atomique est 13, la masse atomique vaut 27g et la température de fusion est 660°C [2,3,16-22].

Généralement, l'aluminium industriel contient 0.5% d'impuretés (principalement Fe+Si), mais il peut être obtenu presque pur par raffinage électrolytique (Al > 99.99%) [3].

Ces impuretés ont différents effets sur leur caractéristique physique, chimique et mécanique. Les propriétés d'aluminium peuvent être améliorées par des traitements thermique et mécanique, ainsi par l'addition des éléments comme le Mg, Si, Mn, etc....

A la température ambiante, l'aluminium forme très vite une couche d'oxyde Al_2O_3 (alumine), épaisse et adhérente, qui protège le métal de les effets, mécaniques et physiques et les attaques chimiques [4].

I. 3.1. Obtention d'aluminium :

En générale, l'aluminium est obtenu à partir de l'alumine issue de la bauxite, par le

Procédé d'électrolyse dans une cuve comportant une cathode et une anode. L'aluminium formé par électrolyse se dépose au fond de la cuve (cathode), puis il sera recueilli périodiquement pour en faire des lingots ou des pièces directement moulées.

Actuellement les roches des bauxites constituent la source spéciale de métal d'aluminium, elles sont riches en alumine qui est extraite de la bauxite par le procédé Bayer : la bauxite est broyée puis attaquée à chaud par de la soude. On obtient une liqueur qui après séparation des oxydes de fer et de silicium sera envoyée dans des décomposeurs pour précipitation de l'alumine

I. 4. Propriétés de l'aluminium:

I. 4. 1. Propriétés physiques :

L'aluminium est un élément du 3ème groupe de la classification de Mendeleïev, dont le nombre atomique est 13 et la masse atomique $M=26.98$. Sa température de fusion est $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ et celle d'ébullition $2467\text{ }^{\circ}\text{C}$ environ, il possède un réseau cubique à face centré (CFC) à équidistance $a = 4.0412\text{ \AA}$.

Sa caractéristique la plus importante est sa faible densité 2.7 g/cm^3 à température ambiante. Cette densité ne varie pas de façon sensible dans les alliages légers, elle reste toujours inférieure à 2 g/cm^3 . Sa conductibilité thermique est de $0.57\text{ cal/cm.s.}^{\circ}\text{C}$ et sa conductibilité électrique est élevée ($2.6548\text{ ohm. mm}^2/\text{m}$). [5.6.7]

I. 4. 2. Propriétés mécaniques:

Compte tenu de sa structure cristalline (CFC), l'aluminium pur est très déformable à froid ou à chaud, de ce fait il, est très ductile, ce qui facilite son usinage et sa mise en forme, de ce fait il, est très malléable (allongement de rupture 30 à 40%), il est peu tenace. Résistance à la rupture par traction $R=70$ à 100 N/mm² et il est de faible dureté. [7.5]

Module d'élasticité : il est à 66.6 GPa pour l'aluminium pur et augmentes-en Présence d'impuretés et d'additions. Pour les alliages, le module est compris entre 69 et 72 GPa et particulièrement sensible à la teneur en silicium 70 à 82 GPa lorsque la teneur en silicium varie de 2 à 18% .

Module de torsion (cisaillement) : il est égal à 25 GPa pour l'aluminium pur titré à 99.9% et 26 GPa pour l'aluminium commercial.

I. 4. 3. Propriétés chimiques:

L'aluminium se distingue par sa résistance élevée à la corrosion du fait de la formation à la surface d'une couche protectrice (Al₂O₃).

La pureté du métal améliore sa résistance à la corrosion par les solutions salines et l'eau de mer ainsi que le brouillard aussi pour l'industrie chimique et agroalimentaire qui emploie un aluminium titrant au moins 99.5% .

La plus parts des acides minéraux (chlorhydriques, sulfurique) qu'organiques (trichloracétique) ainsi que la soude et la potasse attaquent l'aluminium. [10.9]

I. 4. 4. Propriétés de mise en forme [8]

La température de fusion de l'aluminium est relativement basse 660 C° d'où une facilité de fusion qui représente un avantage pour les opérations de fonderie, il est très ductile, on peut facilement le mettre en forme à l'état solide par déformation plastique.

I. 5. Alliage d'aluminium

La nuance de l'alliage est déterminée selon les principaux éléments additionnés à l'aluminium. Ces éléments sont généralement le cuivre, le magnésium, le silicium, le zinc, le manganèse. A côté de ceux-là, d'autres éléments qu'on retrouve sous forme de trace vu leur limite de solubilité dans l'aluminium sont: le chrome, le cadmium, le bismuth, le titane, le fer, le zirconium, le cobalt, le lithium, l'étain et les terres rares.

Chaque nuance d'alliage impose un mode d'élaboration et de transformation

sécial, parmi lesquels on distingue deux modes d'élaboration. Les alliages de moulage et les alliages de corroyage, ces derniers peuvent être subdivisés en deux catégories, les alliages à durcissement structural et sans durcissementsstructural.

I. 6. Désignation des alliagesd'aluminium

On distingue les deux grandes familles d'alliages d'aluminium suivantes [3] (Tableau .I.2) :

Tableau .I.2.Familles d'alliages d'aluminium [8].

<i>Elément d'alliages</i>	<i>Famille des moulés</i>	<i>Famille des corroyés</i>
Aucun	10000	1000
Cu	20000	2000
Mn	/	3000
Si	40000	4000
Mg	50000	5000
Mg+Si	/	6000
Zn	70000	7000

❖ **Les alliages corroyés**, produits obtenus par des procédés de déformation plastique à chaud ou à froid tels que filage, le laminage.

❖ **Les alliages de moulage**, obtenus directement par fonderie.

I. 6.1. Les alliages de corroyage.

Obtenus par (corroyage = déformation à chaud), coulés en plaques ou billettes puis transformés à chaud par laminage, filage, forgeage, matriçage...

Les principales propriétés requises de ces alliages sont, selon les applications :

- Résistance mécanique
- Ductilité
- Résistance à la propagation des fissures
- Résistance à la fatigue (efforts alternés)
- Résistance aux multiples formes de corrosion
- Conductibilité électrique [8],[11].

I. 6.2. Les alliages de moulage.

Obtenus par coulés dans des moules d'où sortent des produits (presque) finis. Ils ne subissent donc pas de déformation importante mais doivent présenter, selon les applications, certaines des autres propriétés ci-dessus, et aussi d'autres qualités bonnes telles que coulabilité, retrait faible à la solidification, aucune formation de criques... une grande part des alliages de moulage provient de métal recyclé refondu [11], [12].

I. 6.3. Désignation des alliages corroyés

▪ Composition

La désignation, conforme à la norme Afnor NF EN 573 ainsi qu'aux spécifications internationales de l'Aluminium Association, est numérique à quatre chiffres dans la premier chiffre indique la famille (ou la série) à laquelle appartient l'aluminium ou l'alliage d'aluminium [3] (Tableau I.3).

Tableau I.3 - famille d'alliages d'aluminium corroyés [1].

Élément d'alliage	Famille
Aucun	1000
Cuivre	2000
Manganèse	3000
silicium	4000
Magnésium	5000
Magnésium + silicium	6000
Zinc (et cuivre)	7000

I. 6.3. a. Désignation numérique (Norme européenne EN 485-2)

La désignation comporte les éléments suivants :

- le préfixe EN suivi d'un espace
- la lettre A qui représente l'aluminium
- la lettre W qui représente les produits corroyés
- un tiret-
- quatre chiffres représentant la composition chimique:
- **1^{er} chiffre** : indique le groupe d'alliage selon le tableau ci-dessous:
- **2^{ème} chiffre** : pour le groupe 1 : les limites de certaines impuretés, pour les autres groupes, les modifications successives de l'alliage

- *3^{ème} et 4^{ème} chiffres* : indiquent pour le groupe 1 le pourcentage d'aluminium au-delà de 99% et pour les autres groupes, l'identification de l'alliage [13] (Tableau.I.4).

Tableau .I.4. Indique les groupes de l'alliage d'aluminium.

Groupe	Aluminium ou alliages
1	Aluminium non allié
2	Aluminium – cuivre
3	Aluminium – manganèse
4	Aluminium – Silicium
5	Aluminium – Magnésium
6	Aluminium – Magnésium – Silicium
7	Aluminium – Zinc
8	Autres alliages d'aluminium

I. 6.3. b. Désignation symbolique (Norme européenne) Elle est destinée à compléter la précédente.

La désignation de l'aluminium non allié destiné au corroyage est constituée du symbole chimique du métal (Al) suivi d'un espace et du pourcentage de pureté exprimé avec une ou deux décimales [13].

Exemples : EN AW-1199 [Al 99,99] ou EN AW-1070A [Al 99,7].

Pour les alliages d'aluminium corroyés alliés, la désignation est constituée du symbole Al suivi d'un espace et du symbole des éléments d'addition respectivement suivi de leur teneur par ordre décroissant.

Exemples : EN AW-6061 [Al Mg1SiCu] ou EN AW-2014 [Al Cu4siMg].

I. 6.3. c. Désignation des états métallurgiques des produits corroyés

Cette désignation est ajoutée aux précédentes, elle comporte un groupe de lettres et de chiffres et indique la séquence de traitements utilisés pour obtenir les différents états [13] (Tableau.I.5).

Tableau .I.5.indique Désignation des états métallurgiques des produits corroyés [13].

Etat de base	Lettres	Chiffres	Autres
Etat brut de fabrication	F	-	-
Etat recuit	O	-	-
Etat Ecroui	H	1 - 2 - 3	dureté 1-9 (3 ^o chiffre pour variances de trait)
Etat traité thermiquement	T	1 – 12	1 ou 2 chiffres pour variétés de traitement
Mis en solution (trempé)	W	-	-

La désignation de ces alliages est faite suivant des règles très précises que nous rappelons ci-après.

I. 6. 4. Désignation des alliages de moulage

➤ Compositions

La désignation alphanumérique, autre fois en usage en France, a été remplacée par une désignation numérique, comme pour les alliages de corroyage, mais en 5 chiffres, suivant la norme Afnor NF EN 1780-1. On trouvera au (tableau.I.6) la correspondance entre le premier chiffre et l'élément d'alliage [3].

Pour faciliter la compréhension du texte concernant les alliages de moulage, nous avons indiqué les deux désignations : l'ancienne alphanumérique et la nouvelle, numérique, en vigueur depuis 1998.

Tableau .I.6.famille d'alliages d'aluminium moulé.

Élément d'alliage	famille
Aucun	10000
Cuivre	20000
silicium	40000
magnésium	50000
Zinc et cuivre	70000

I. 6.4. a. Désignation symbolique (Norme européenne) La désignation comporte les éléments suivants :

- le préfixe EN suivi d'un espace
- la lettre A qui représente l'aluminium
- la lettre C qui représente les produits moulés
- un tiret-

Les symboles chimiques des éléments d'addition, successivement suivis de leur teneur dans l'ordre décroissant de celle-ci.

Exemple : EN AC-AlCu4MgTi : alliage d'aluminium à 4% de cuivre avec des traces de manganèse et de titane.

I. 6. 4. b. Désignation numérique (Norme européenne) La désignation comporte les éléments suivants :

- le préfixe EN suivi d'un espace
- la lettre A qui représente l'aluminium
- la lettre C qui représente les produits moulés
- un tiret-
- cinq chiffres représentant la composition chimique:
- 2 premiers indiquent le groupe d'alliage
- 3 derniers indiquent la composition chimique.

Exemple : EN AC-21000 : alliage d'aluminium à 4% de cuivre avec des traces de manganèse et de titane.

I. 6. 4. c. Renseignements complémentaires

A la suite des désignations données ci-dessus, il est possible d'indiquer le mode d'obtention et le traitement donné à l'alliage. Une lettre désigne le procédé de moulage, et un groupe de lettre, le traitement (Tableau .I.7).

Tableau .I.7. Indique les renseignements complémentaires [13].

Procédé de moulage	Lettre	Type de traitement	Lettre
Moulage en sable	S	Brut de fonderie Recuit Refroidissement contrôle après solidification et vieillessement naturel	F O T1
Moulage en coquille	K	Mise en solution et vieillessement naturel (maturation)	T4
		Refroidissement contrôle après solidification et vieillessement artificiel ou sur-revenu (stabilisation)	T5
Moulage sous pression	D	Mise en solution et vieillessement artificiel (maturation) maximum	T6
		Mise en solution et sous vieillessement artificiel (sous revenu) T64	T64
Moulage de précision	L	Mise en solution et sur vieillessement artificiel (sur revenu stabilisation)	T7

I. 6. 4. d. Anciennes normes de désignation

Les alliages d'aluminium de fonderie sont encore souvent désignés par leurs anciennes normes.

➤ Composition

La désignation est alphanumérique

* Cas des aluminiums non alliés :

A suivie d'un indice de pureté chimique représenté par un chiffre dont la valeur augmente avec la pureté

Exemple: A4 = aluminium de pureté ³ 99,0% A5 = aluminium de pureté ³ 99,5%

*Cas des alliages:

A suivie du symbole des éléments d'addition dans l'ordre des teneurs décroissantes

*Etat de livraison

La lettre Y qui signifie alliage moulé est suivie de deux chiffres [3]:

- Le premier chiffre indique le mode de moulage 2: moulage en sable
3: moulage en coquille 4: moulage sous pression
8: moulage par centrifugation
9: moulage suivant prescriptions
- Le deuxième chiffre indique le traitement thermique 0: pas de traitement
1: recuit
3: mis en solution, trempé revenu 4: mis en solution, trempé et mûri 5: stabilisé
9: suivant prescription

Exemple: A-U5GT-Y24

Alliage de moulage contenant 5% de cuivre, du magnésium et du titane, moulé en sable, mis en solution, trempé et mûri.

I. 7. Les alliages d'Aluminium de la série 6000(Al-Mg-Si)

La série 6000 contient des additions de magnésium et de silicium et parfois un peu de cuivre, de chrome ou de manganèse. Les alliages sont faits pour obtenir les plus grands niveaux de résistance par la précipitation de la phase Mg₂Si. Leurs propriétés mécaniques ne s'étendent doucement que ceux de l'acier de construction. L'expulsion est généralement très bonne, les alliages sont soudables et ont une bonne résistance à la

corrosion , ils sont bien appropriés ç la plupart des processus de traitement de surface, et ils ont des propriétés de résistance au-dessus de 100°C. Gamme typique d'application des armatures de fenêtre à de structures fortement chargées [16].

I. 8. Caractéristiques des alliages d'aluminium série6XXX

Les éléments d'addition les plus importants de la série 6000 sont le magnésium et le silicium. Ils sont d'une grande importance industrielle. Leur durcissement est dû à la précipitation des formes transitoire de composé Mg_2Si . Ils ont une très bonne aptitude à la mise en forme à froid et à la déformation. Ils présentent un bon comportement aux basses températures mais une résistance à chaud limité, aussi un bon niveau de caractéristiques mécanique. Ils ont une bonne résistance à la corrosion atmosphérique et leurs beaux aspects de surface après brillantage [5].

Les alliages de la série 6000 peuvent être classés en deux catégories :

1--- la première c'est là où les compositions sont plus chargée en magnésium et silicium (6061, 6082 par exemple). Ils sont utilisés pour des applications de structure (charpente, pylône...), ainsi qu'en aéronautique (liaisons électriques, boîtiers électroniques embarqués..).

2--- la deuxième, catégorie moins chargée en silicium qui par conséquent aura des caractéristiques mécaniques plus faibles. C'est le cas du 6060 qui permettra de grandes vitesses de filage mais qui aura des caractéristiques mécaniques plus faibles. Il sera utilisé par exemple en décoration et ameublement, menuiserie métallique. Il faut également noter l'existence du 6101 anciennement appelé Almelec (tableau II.8). Cet alliage a été énormément utilisé pour ces aptitudes de conducteur électrique. Il a notamment été utilisé pour la fabrication de lignes moyenne et haute tension en France (tableau .II.9)[13].

Tbleau.I.8.composition des alliages 6060-6082-6101(Les concentrations sont en pourcentage massique)[13].

Composition														
Alliage		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Zr+Ti	Autres chaque	Autres total	Al
6060	Min.	0.03	0.10	/	/	0.35	/	/	/	/	/	/	/	le reste
	Max.	0.60	0.30	0.10	0.10	0.60	0.05	/	0.15	0.10	/	0.05	0.15	
6082	Min.	0.70	/	/	0.40	0.60	/	/	/	/	/	/	/	le reste
	Max.	1.30	0.50	0.10	1.00	1.20	0.25	/	0.20	0.10	/	0.05	0.15	
6101	Min.	0.30	/	/	/	0.35	/	/	/	/	/	/	/	le reste
	Max.	0.70	0.50	0.10	0.03	0.80	0.30	/	0.10	/	/	0.05	0.15	

.Tableau.I.9.caracristiques physique des alliages 6060-6082[13].

Caractéristiques physiques		
/	6060	6082
Masse volumique (g/cm ³)	2.70	2.71
Intervalle de fusion	615-655	570-645
Coefficient de dilatation linéique (0 à 100 °C) (°C ⁻¹ .1.106)	23.4.10 ⁻⁶	23.5.10 ⁻⁶
Module d'élasticité (MPa) (1)	69500	69500
Coefficient de Poisson	0.33	0.33
Conductivité thermique (0 à 100°C) (W/M°C)	État T5 : 200	État T6 : 174
Resistivity à 20°C (μΩcm)	État T5 : 3.3	État T6 : 4.2
Capacité thermique massique (0 à 100°C) (J/kg°C)	945	935
Limité élastique RP0.2 (MPa)	110 (2)	240 (3)
Limité à la rupture Rm (MPa)	150 (2)	300 (2)
Allongement (%)	14 (2)	8 (3)

- (1) Moyenne des modules de traction et de compression
- (2) barre étirée état T5 diamètre inférieur à 100mm
- (3) Barre étirée état T6 diamètre compris entre 60 et 150mm.

I. 9. Spécificité de l'alliage 6061

I. 9. 1. Principales caractéristiques de l'aluminium

En tonnage, la production d'aluminium ne représente que 2% environ de celle des aciers. Cependant, ce métal et ses alliages arrivent en seconde position dans l'utilisation des matériaux métalliques. L'aluminium doit cette place à un ensemble de propriétés qui en font un matériau remarquable. L'aluminium et ses alliages prennent encore aujourd'hui une place importante dans les différents domaines de l'industrie. Son utilisation s'accroît de jour en jour grâce à ses propriétés particulières [5].

I. 9. 1. a. Masse volumique

La masse volumique de l'aluminium est de 2700 kg/m³. L'utilisation de l'aluminium s'impose donc dans les domaines de la construction aéronautique et du transport.

I. 9. 1. b. Résistance à la corrosion

Grâce à la couche d'oxyde qui se forme en surface, les alliages d'aluminium résistent à la corrosion.

On peut rendre cette couche d'oxyde protectrice plus épaisse par anodisation. L'aluminium et ses alliages peuvent alors être utilisés sans protection supplémentaire comme revêtements extérieurs dans le bâtiment. Par, dans contre les milieux corrosifs, les alliages d'aluminium sont sujets à la corrosion par piqûre, la corrosion sous contrainte, la fatigue corrosion, voire la corrosion généralisée. Le degré de l'attaque dépend de l'alliage utilisé et de son état.

I. 9. 1. c. La conductibilité électrique

La conductibilité électrique de l'aluminium commercial atteint 62 % de celle du cuivre. Par ailleurs, la masse volumique du cuivre est plus élevée que celle de l'aluminium. Un conducteur en aluminium dont la masse est inférieure à celle d'un conducteur en cuivre, s'échauffe moins.

L'aluminium conduit très bien l'électricité puisqu'il se place immédiatement après le cuivre dans les métaux communs. Les impuretés et les éléments d'addition ont une

influence plus ou moins importante sur la résistivité. La forme sous laquelle ces éléments sont intégrés dans la matrice d'aluminium modifie ses propriétés.

I. 9. 1. d. Propriétés mécaniques

L'aluminium commercial possède, à l'état recuit, des propriétés mécaniques faibles. On peut toutefois les améliorer considérablement par écrouissage, addition d'éléments d'alliage ou traitements thermiques, selon les cas.

I. 9. 1. e. Propriétés optiques

Le pouvoir réflecteur de l'aluminium poli est excellent et varie avec la longueur d'onde. Dans le spectre du visible, il est de l'ordre de 85% à 90%, seul l'argent peut faire mieux. Cette propriété peut être améliorée par des traitements de surface comme le polissage et le brillantage.

Le pouvoir émissif de l'aluminium revêtu de sa couche naturelle d'oxyde est très faible, il est de l'ordre de 5% du corps noir à l'état poli. Cette propriété est utilisée en isolation.

I.9. 1. f. Module d'élasticité

Le module d'élasticité est égal à 66,6 GPa pour l'aluminium pur et augmente en présence d'impuretés et d'éléments d'addition. D'un point de vue commercial il est admis pour 69 GPa. Dans le cas des alliages, ce module est compris entre 69 et 72 GPa. La teneur en silicium l'augmente sensiblement de 70 à 82 GPa lorsque la teneur en silicium augmente de 2 à 18%. Le module de torsion est de 25 GPa pour l'aluminium pur; il est de 26 GPa pour l'aluminium commercial. Les caractéristiques mécaniques de traction varient en fonction de:

- Conditions de transformation et de moulage
- Sensibilité à la trempe
- Conditions de moulage
- maintien à chaud.

I. 9. 1. g. Ténacité

La ténacité ou résistance statique résiduelle à la propagation d'une fissure est une notion très importante en particulier dans le cas des alliages à haute résistance car elle conditionne la fiabilité et la sécurité des structures.

I. 9. 1. i. Résistance à la fatigue

La résistance à la fatigue à 10⁸ cycles est donnée pour chaque alliage dans les tableaux de caractéristiques mécaniques. On détermine le rapport d'endurance comme étant le rapport entre la limite à la fatigue à 10⁸, en contraintes alternées et la charge de rupture en traction:

- 0,35 à 0,45 dans le cas des alliages sans durcissement structural
- 0,25 à 0,35 dans le cas des alliages avec durcissement structural

I. 9. 1. j. Propriétés à chaud

Les propriétés mécaniques à chaud des alliages d'aluminium diminuent lorsque la température augmente. La nature de l'alliage, la durée du maintien à chaud et la température de maintien sont les paramètres les plus sensibles.

I. 9. 2. Caractéristiques de l'alliage d'aluminium 6061

I. 9. 2. a. Alliage Aluminium 6061

L'alliage AA6061 appartient à la série 6000. Sa composition nominale (en poids %) est 1% de magnésium, 0.6% de silicium(Si), 0.23% de cuivre (Cu), 0.16% fer (Fe), 0.12% Chrome (Cr), 0.05% manganèse et le reste c'est de l'aluminium. L'alliage 6061 est très ancien et encore universellement utilisé dans [14]:

- les transports (structures, panneaux, caravanes, conteneurs...);
- les structures au sol (charpentes de bâtiment, de matériel de manutention, pylônes, paravalanches, coffrages de travaux publics);
- les pièces chaudronnées soudées;
- Comme matériaux de gainage des éléments de combustible des réacteurs nucléaires de recherche.

I. 9. 2. b. Propriétés de l'alliage 6061

Les principales propriétés de l'alliage 6061 sont les suivantes:

- Caractéristiques mécaniques moyennes à la température ambiante et ses caractéristiques de traction augmentent notablement aux basses et très basses températures ;
- Bonne aptitude à la mise en forme;
- Résistance à la fatigue moyenne;

- Bonne aptitude au soudage à l'arc;
- Excellente résistance à la corrosion dans des atmosphères même relativement agressives; de plus, l'alliage 6061 n'est pas sensible à la corrosion sous tension[14]

I.10. Les applications de l'aluminium

I.10. 1. Les différents domaines d'utilisation

L'aluminium est malléable et ductile ce qui permet un usinage facile. Avec un point de fusion bas - 660°C contre 1500°C pour le fer – il se prête facilement au moulage de petites pièces, de plus l'économie d'énergie faite lors de sa fabrication est considérable.

Depuis l'apparition de l'électrolyse en 1887 le coût de production de l'aluminium a chuté. Les secteurs des transports, de la construction, de l'emballage et de la vie quotidienne constituent les marchés les plus importants pour les produits en aluminium.

Les autres utilisations concernent les équipements électriques, la mécanique, la chimie et la pharmacie.

Les transports : Aéronautique, automobile, train, bateau...

Il est apprécié dans ce domaine grâce à sa légèreté qui permet de réduire la consommation et les émissions de carburant. De plus il se lie facilement avec du cuivre de silicium ou de magnésium pour former des alliages résistants qui évacuent bien la chaleur, idéal pour les moteurs. Son utilisation réduit également le bruit et les vibrations.

Dans l'aéronautique il est indispensable de part sa légèreté et la robustesse des alliages existants, il permet donc de réduire la consommation de carburant et d'augmenter la charge utile de l'appareil. Ainsi en 35 ans, le poids de la structure d'un avion a été divisé par deux.

Dans le domaine des automobiles encore une fois sa légèreté réduit la consommation, les émissions de polluants et les distances de freinage, ses propriétés améliorent l'absorption d'énergie cinétique en cas d'accident ce qui augmente la sécurité des usagers. De plus l'aluminium ne rouillant pas comme l'acier, la longévité d'une pièce en aluminium est triplée par rapport à ce dernier.

Dans le domaine ferroviaire on notera sa tenue à la corrosion qui permet de transporter facilement des produits corrosifs, sa légèreté est toujours aussi appréciée.

Pour finir, dans le naval, l'aluminium a permis le développement des navires à grande vitesse. Il entre dans la composition des coques, mats, ponts et superstructures de tous type de navire et sa résistance à la corrosion sera une parfaite protection naturelle contre l'usure des métaux en milieu marin. Une coque en aluminium peut tenir plus de 30 ans sans s'user et ce sans aucun entretien.

Le bâtiment : Facilement malléable et résistant en alliages, l'aluminium permet de réaliser des formes complexes dans une gamme étendue de coloris. Il est donc très apprécié en architecture moderne et ne nécessite que très peu d'entretien. Ces atouts en font un matériau polyvalent utilisé dans tous types de bâtiments, il entre par exemple dans la composition des structures vitrées, des cloisons, des portes, des gouttières...

Autre intérêt, l'aluminium fait partie des métaux non combustibles : L'aluminium ne s'enflamme pas, même après avoir fondu (au-delà de 650°). Sa grande conductivité thermique permet de faciliter la dissipation de chaleur lors d'un incendie. (Sa diffusivité thermique est 6 fois supérieure à celle de l'acier). Ces deux caractéristiques en font un matériau avantageux et pratique dans la lutte incendie.

L'électricité : L'aluminium est particulièrement apprécié dans ce domaine grâce à sa conductivité électrique élevée, son absence de magnétisme et son inertie chimique. L'aluminium a remplacé le cuivre dans les lignes à haute tension et est aujourd'hui la manière la plus économique de transmettre l'énergie électrique. Depuis les années 50 l'aluminium a pratiquement remplacé le laiton comme base standard pour l'ampoule électrique. Des milliers d'antennes de télévision et beaucoup d'antennes paraboliques sont également faites d'aluminium.

L'alimentation : L'emballage en aluminium est largement répandu du fait de son faible coût de production, sa légèreté et son caractère isolant. Une mince feuille d'aluminium (0.1 mm environ) suffit à isoler le produit du monde extérieur : Imperméabilité à la lumière, à l'air, aux rayons ultraviolets, à la vapeur d'eau, à l'oxygène et aux micro-organismes. Autant de facteurs pouvant diminuer la durée de conservation des aliments. En outre, la résistance à la corrosion et la stabilité métallurgique de l'aluminium le protège des détériorations infligées par certains produits. L'exemple majeur de l'emballage en aluminium est la canette, elle n'altère nullement le goût des aliments, robuste, légère et recyclable, elle est le type d'emballage le plus répandu pour les boissons. Prudence néanmoins, plusieurs études scientifiques ont démontré que

l'aluminium n'est pas éliminé par l'organisme, à forte dose il a un effet néfaste sur le système nerveux et le tissu osseux. Dans l'alimentation les doses ingérées sont jugées négligeables, néanmoins son utilisation comme conduite d'eau est prohibée.

Autres utilisations : Filtrant dans les crèmes solaires, texturant et colorants alimentaires dans les laitages, immunisant dans les vaccins et purifiant dans le traitement des eaux, l'aluminium est également utilisé à plus faibles quantités dans l'industrie chimique.

On le retrouve dans les CD pour son caractère conducteur, dans les équipements sportifs de pointe ainsi que pour les coques de portable pour sa légèreté.

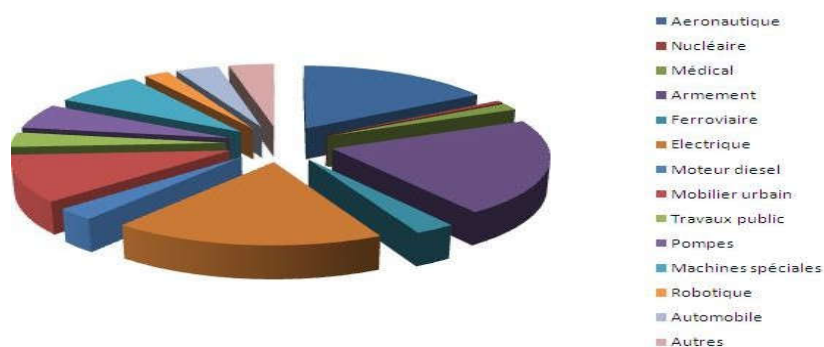


Figure.I.1. Diagramme : Production de la fonderie BARBAS & PLAILLY des pièces en alliages d'aluminium pour différents secteur d'activités

I.10. 2.L'aluminium, un métal renouvelable

On peut recycler l'aluminium indéfiniment sans perdre aucune de ses propriétés. Il suffit, lors du processus dit de deuxième fusion, de refondre les résidus de fabrication et les produits d'aluminium en fin de vie, par exemple les canettes, pour fabriquer d'autres produits en aluminium. La fabrication d'aluminium de deuxième fusion ne requiert que 5 % de l'électricité nécessaire à la production d'aluminium de première fusion ce qui permet donc d'économiser 95% d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre.

Actuellement, près de 35 % de la demande mondiale d'aluminium est comblée par de l'aluminium recyclé.

De tous les matériaux récupérés, l'aluminium est celui qui a la plus grande valeur. Recycler 1 kg d'aluminium économise 8 kg de bauxite, et 14 kilowattheures d'électricité.

1) Le recyclage, une réponse à la demande croissante

L'industrie de l'aluminium considère le recyclage comme un enjeu majeur. Dans le secteur de l'automobile, plus de 80 % des pièces de voitures en aluminium sont recyclées, et la quantité d'aluminium utilisée dans les voitures augmente d'année en année. D'ici peu, nous aurons des automobiles entièrement recyclables.

De plus la durée de vie des produits en aluminium est assez longue (12 ans pour le secteur automobile, environ 30 ans pour le bâtiment)

2) Le processus de recyclage

Le principe : Collecte, tri, affinage, refusions, utilisation. L'industrie a réduit la quantité d'aluminium nécessaire à l'emballage des produits en optimisant leur conception : par exemple, leur épaisseur a été réduite d'environ 33% en 15 ans. Leur fabrication requiert de moins grandes quantités d'énergie et de matières premières.

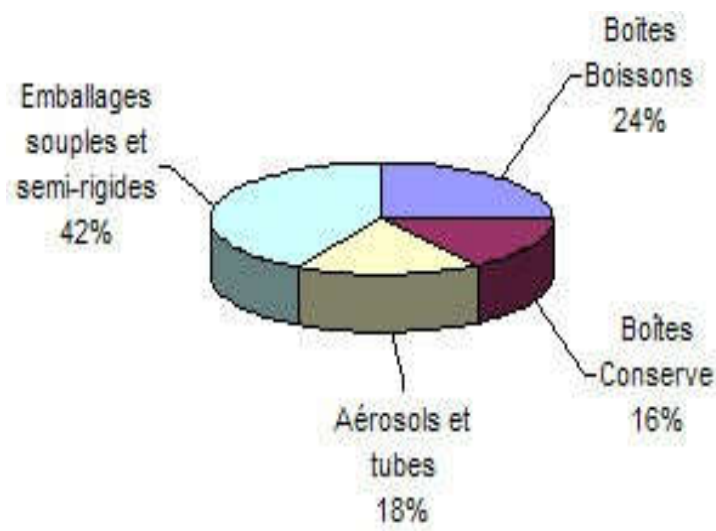


Figure. I.2. Diagramme: Pourcentage des emballages recyclés

3) Écobilan favorable

Le recyclage de l'aluminium est effectif car c'est une opération structurellement rentable : l'écart de coût finance largement les coûts de récupération.

Le recyclage est aussi garanti dans le long terme : même si les coûts d'énergie venaient à baisser, ce qui apparaît peu probable, même si les coûts de collecte venaient à croître, le recyclage de l'aluminium restera durablement une activité rentable.

L'aluminium recyclé n'a pas de problème de débouchés. En pratique, tout l'aluminium en fin de vie collecté est effectivement recyclé et tout le métal recyclé est effectivement réemployé. Il existe bien un marché très actif pour les déchets, et de l'aluminium recyclé. Ce marché absorbe sans aucun problème tout l'aluminium collecté issu des produits en fin de vie.

I. 11. Conclusion

L'Aluminium présente donc une grande variété d'alliages répondant ainsi à une multitude d'applications.

Ces applications sont dominées par les impératifs suivants : résistance à la corrosion, légèreté, résistances mécaniques correctes.

La légèreté notamment lui offre des débouchés dans l'automobile et les transports en général. Cependant, la concurrence des matières plastiques sur les composants non sollicités en température est active.

Un des inconvénients de l'Aluminium est ses relativement faibles propriétés mécaniques. Il existe des techniques de durcissement pour les renforcer. Nous allons étudier ces techniques en nous limitant à celles par traitements thermiques et/ou mécaniques. Sont donc exclues de cet exposé, les techniques par mise en solution solide d'autres éléments, l'affinage du grain et les composites [16].

Références :

[1] Guy Murry. Généralité sur L'aluminium et ses alliages. Aide-mémoire Métallurgie. Dunod, Paris, 2004, 2010.. Page (202-213). (Deuxièmes édition).

[2]Gérard Hartmann, L'aluminium historique,

« <http://www.hydroretro.net/etudegh/aluminiumhistorique.pdf> ».

[3]JM. DORLOT JP. BAILON J. MASOUNAVE. Des Matériaux. Montréal,

Editions de L'Ecole Polytechnique de Montréal, 1986.

[4]Develay, R., Données numériques sur l'aluminium non allié, Les Techniques de l'ingénieur. M443.

[5]Jean BAILON etJ.M.DORLOTDesmatériaux 3eme édition, école polytechnique de Montréal, 2000.

[6]g.FANCY et POMPIDOU, Précis de fonderie : méthodologie, production et normalisation ; AFNOR 2eme édition 1992.

[7]Jean BARRALIS et Gérard MEADER Pièces – métallurgie élaboration , structure; propriété, normalisation, AFNOR NATHAN paris 2001

.Michel COLOMDIE et COLL Matériaux industriels : matériaux métalliques Edition DUNOD ?paris 2000.Fabrication de l'aluminium et de ses alliages, page (343 - 376).

[8]I.LAKHTINEMétallographie et traitements thermiques des métaux, 4eme édition, MIR. MOSCOU 1986.

[9]Jean PHILIBER, Alain VIGNES, Yves BRECHET

Métallurgie du mènèrai aux matériaux Edition MOSSON, paris 1998.

[10] : Bauxite,

«http://spcfa.spip.acrouen.fr/IMG/nvx_prog_terms/Chimie%20Sp%E9cialit%E9/S%E9paration%20d'esp%E8ces%20m%E9talliques/Bauxite.pdf».

[11] : C. Vargel, corrosion de l'aluminium, edition Dunod,1999.

[12] J.E. Hatch, Aluminium Properties and PhysicalMetallurgy, Ohio:

Metals Park, 319p, 1984.

[13] : W.S.Miller, L.Zhuang, J.Bottima, A.J.Witterbrood, P De Smet, A.Haszler,A.Viergge, Recentdeveloppement in aluminium alloys for the

automotiveindustry. Materials science and engineering , A280, Vol280, pp. 37-49,2000.

[14] : LycéeRaymondLOEWY

«<http://www.educreuse23.ac-limoges.fr/loewy/aa/voisin/ALUMINIUM.pdf>».

[16]:M. A. Amin, Corr. Sci, (2010), 52(2010) 3243-3257.

Site internet :

<http://www.ledialoguesurlaluminium.com/laluminium/un-metal-unique>

http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/geologie/d/laluminium-un-metal-dexception_780/c3/221/p5/

[http://michel.baehrel.pagesperso-orange.fr/TS1CPI/Cours/Aluminium et alliages.pdf](http://michel.baehrel.pagesperso-orange.fr/TS1CPI/Cours/Aluminium_et_alliages.pdf)

http://signaletique08.espaces-naturels.fr/durabilite_acier_aluminium_bois<http://iut.univ-lemans.fr/gmp/cours/rebiere/proprietesmecaniques.html><http://html.rincondelvago.com/aluminium.html><http://www.euralliage.com/alliage.html>

<http://bricologie.free.fr/aluminium.htm>

[http://www.educreuse23.ac-](http://www.educreuse23.ac-limoges.fr/loewy/aa/voisin/ALUMINIUM.pdf)

[http://www.aluminium-](http://www.aluminium-info.com/)

http://fr.wikibooks.org/wiki/Caractéristiques_physiques_des_alliages_d'aluminium
Universalis de la bibliothèque universitaire d'Aix Marseille

Chapitre II

Traitements thermiques

II. Généralité

Un traitement thermique est une opération (ou une succession d'opérations) au cours de laquelle la température tout en gardant le métal à l'état solide.

Cette opération s'accompagne d'un changement de la structure du matériau et de ses caractéristiques.

D'une façon générale, le traitement thermique ne modifie pas la composition chimique d'un alliage, mais peut modifier :

La constitution

L'état mécanique

Les dimensions de la pièce : les gradients de la température et les changements de la structure provoquant des contraintes pouvant modifier la dimension de la pièce traitée.

I. Importance des traitements thermiques pour aluminium :[8]

L'aluminium et les alliages d'aluminium couvrent un domaine étendu de caractéristiques mécaniques puisqu'on trouve à chaque extrémité de ce domaine, d'une part, l'aluminium raffiné à l'état recuit avec une résistance à la rupture de l'ordre de 50 MPa et d'autre part, les alliages à haute résistance du type Al-Zn-Mg-Cu (7049 A) fortement chargés en élément d'addition et capables, à l'état trempé revenu, d'une résistance à la rupture de 65 à 750 MPa. Une telle gamme de caractéristique mécanique est obtenue seulement en agissant sur la composition des alliages, mais aussi et pour une partie très importante, en effectuant des traitements thermiques qui permettent d'ailleurs d'agir dans deux sens, à savoir :

- ❖ Soit dans le sens d'une diminution de la résistance mécanique, diminution accompagnée généralement d'une augmentation de l'aptitude à la déformation plastique (ce sont les traitements d'adoucissement).
- ❖ Soit à la contrainte dans le sens d'une augmentation de la résistance mécanique (ce sont les traitements de durcissement).

Toutefois, les traitements thermiques n'ont pas comme seul but d'agir sur le niveau de résistance mécanique, ils sont susceptibles d'influencer un grand nombre d'autres propriétés parfois très importantes pour les utilisateurs telles que l'aptitude à la transformation à chaud ou à froid, la résistance à la corrosion, à la fatigue, au fluage, l'aptitude à l'oxydation anodique, la conductivité électrique, la stabilité dimensionnelle,

ect.

Aussi semble-t-il que de plus en plus, dans la métallurgie des alliages d'aluminium, la tendance soit de mettre au définir des traitements thermiques vraiment spécifiques en vue d'améliorer une propriété donnée d'un alliage déterminé.

II.1. Principaux type de traitements thermiques:

Les traitements thermiques appliqués aux alliages d'aluminium peuvent être classe en trois types principaux :

- Les traitements d'homogénéisation, généralement appliques sur les produits coulés avant leurs transformations ou également sur les produits déjà corroyés.
- Les traitements d'adoucissement par recuit ou restauration généralement appliqués en cours ou en fin de transformation.
- Les traitements de trempe structurale comportent:
 - Une mise en solution.
 - Une trempe.
 - Une maturation ou un revenu produisant le durcissement.

II.1.1. Traitement d'homogénéisation : [7]

Ce sont des traitements comportent un chauffage à des températures relativement élevées appliqués à certains produits de fonderie ou corroyés, et destinés plus souvent à faciliter la transformation à chaud au à froid (filage, forgeage, laminage...etc.). Il consiste en général en maintiens de 6 à 48 heures à des températures allant de 450°C à 610°C, qui ont pour but dissoudre les phases métalliques et de réaliser une homogénéisation de la composition de la solution solide. Les effets de l'homogénéisation peuvent être plus ou moins complexes suivant l'alliage auquel ils s'appliquent et également suivant les conditions de coulée de cet alliage. D'une façon générale, plusieurs types d'évolution aisément observables dans les alliages d'aluminium peuvent être retenus à savoir:

- La dissolution de phases intermétalliques en excès.
- Le nivellement des concentrations dans la solution solide.
- La précipitation de nouvelles phases intermétalliques.

II.1.2 Traitement d'adoucissement :

Ils ont pour but d'adoucir un métal ou un alliage durci par écrouissage ou par trempe structurale. Dans les cas de l'écrouissage, ces sont les traitements de restauration

et les recuits de recristallisation. Ces traitements sont des effets semblables à ceux décrits pour l'aluminium.

Seules les températures de traitement sont plus élevées pour les alliages :

❖ Le traitement de restauration est effectué à 200-300°C pendant une à 8 heures; la structure ne se modifie pas, pourtant les caractéristiques mécaniques évoluent d'autant plus que la température est plus élevée et le temps de maintien est plus long. Au niveau atomique il n'y a qu'une réorganisation des dislocations engendrées par l'écroutissage : certains s'annihilent, d'autre se réarrangent au joints et sous joints de grains d'où la malléabilité de l'alliage.

❖ Le traitement de recristallisation est effectué à 300-400°C pendant 0.5 à 3 heures ;

Les atomes se regroupent suivant des nouvelles directions pour former un petit Cristal d'orientation quelconque. Avec le temps de nouveaux atomes viennent s'agglutiner autour du petit cristal jusqu'à ce que les nouveaux grains se rejoignent pour donner la structure macrographique de recristallisation primaire. Si l'on augmente la température ou la durée de maintien, on obtient des structures de traitement de recuit par un temps trop court, on obtient des états partiellement recristallisés.

Dans le cas de la trempe structurale, c'est un recuit de précipitation qui consiste en un chauffage assez prolongé à température comprise entre la température de revenu et la température de mise en solution d'un produit trempé et mûri ou revenu dans le but d'obtenir un adoucissement relativement important par évolution des précipités provenant des constituants de l'alliage.

II.1.3. Traitement de trempe structural:

Traitement thermique complète assurant un durcissement structural. Ce traitement comprend généralement :

- D'un refroidissement convenable (trempe);
- D'une maturation ou d'un revenu produisant undurcissement.

a). Mise en solution :

Opération consistant à maintenir pendant une durée et à une température suffisante, un alliage à l'état solide de façon que les éléments d'addition solubles soient dissous de quantité convenable dans l'aluminium.

Suivant les alliages, la mise en solution peut être effectuée par une opération spéciale (mise en solution séparée) ou s'accomplir spontanément au cours d'une transformation à chaud (refroidissement des pièces moulées).

b). Trempe:

Après sa mise en solution solide, l'alliage se refroidit assez rapidement pour que la solution solide reste sursaturée en éléments d'addition à la température ambiante, après cette opération l'alliage est en état de trempe fraîche avec des caractéristiques mécaniques qui n'ont pas sensiblement augmentées par durcissement mais une bonne plasticité.

En effet, dans les alliages d'aluminium, pour que les caractéristiques mécaniques soient optimales, il faut que la concentration de la solution solide soit sensiblement la même qu'à la température de mise en solution, ce qui n'implique pas nécessairement que refroidissement soit très rapide. C'est là qu'intervient la notion de vitesse critique de trempe qui peut être considérée comme la vitesse minimale qui permette d'obtenir à la température ambiante la solution solide sursaturée.

I.4.1. Four de trempe:

C'est un four à résistance électrique, construit en tôle et profilés robustes. Il est isolé avec de la laine d'alumine pour l'isolation thermique et la rendre plus légère. Un contact électrique coupe le circuit de résistances de l'ouverture de la porte pour éviter au manipulateur toute décharge électrique. (Figure.II.6).

Le four de trempe possède les caractéristiques suivantes :

- ◆ Tension $T=380V$
- ◆ Puissance $P=11Kw$
- ◆ La température peut allée jusqu'à $1200^{\circ}c$.



Figure.II.1 : Four de trempe

c). Maturation (vieillessement naturel) :[9]

Après trempe, l'alliage durcit plus ou moins rapidement suivant sa composition par simple séjour à la température ambiante : c'est la maturation ou vieillissement naturel.(Evolution spontanée à la température ordinaire de la solution solide sursaturée).

Le comportement des alliages lors de la maturation est très variable d'une famille à l'autre. Après cette évolution, l'alliage est à l'état mûri.

d).Revenu (vieillessement artificiel):

Le revenu est un traitement thermique effectué sur les pièces métalliques afin de leurs donner leurs caractéristiques mécanique et parfois de résistance à la corrosion d'usage. Ce traitement est effectué après la trempe.

- ✓ Réchauffage de la pièce jusqu'à une certaine couleur
- ✓ Refroidissement définitif.

I.4.2. Four de revenu (Figure.II.7).

❖ **Principe de l'étuve** : Nos traitements de vieillissement ont été réalisés dans une étuve de type MEMMERT alimentée par un courant de 380Volts. Elle est composée essentiellement de:

- ✓ 1-Afficheur du temps(maintien).
- ✓ 2-Indicateur du mode de fonctionnement.
- ✓ 3-Indicateur de température de consigne(recommandée).
- ✓ 4-Indicateur de régime de la ventilation.
- ✓ 5- Indicateur de la température d'intervention du dispositif de sécurité.

L'étuve est dotée d'une ventilation naturelle par convection à thermosiphon. Le brassage d'air s'effectue par une turbine installée à l'intérieur, sur la paroi du fond de l'appareil.



Figure II.2: Etuve utilisée.

Le but de revenu :

Le but de revenu est diminuer les effets de la trempe d'homogénéisation et stabiliser les propriétés mécaniques et d'atténuer ou de faire disparaître les tensions internes.

Le revenu s'effectue à une température inférieure à celle de la trempe ou de recuit. Pour les pièces en alliage d'aluminium, le traitement de revenu durcit l' pièce par précipitation de composés intermétalliques dans la matrice aluminium.

2.3.5. Recuit :

Le recuit d'une pièce métallique est un procédé correspondant à un cycle de chauffage, maintien en température puis refroidissement permettent de modifier les caractéristiques d'un métal. □ l'occasion d'un recuit, les grains (monocristaux) du métal se reforment. Ce procédé est utilisé pour éliminer les effets de phénomènes mécaniques ou thermiques considérés comme néfastes. Le recuit de cristallisation, après écrouissage, a pour but de confrère au métal une taille de grain optimal pour son utilisation future (pliage, emboutissage).

II. Traitements thermiques des alliages d'aluminium:

Les alliages d'aluminium susceptible de durcissement structural, alors que le dernier traitement est très spécifique.

III.1. Cycle thermique :[17]

La variation de la température du métal en fonction du temps est appelée cycle thermique. Le cycle thermique comporte généralement trois étapes(Figure.II.8)

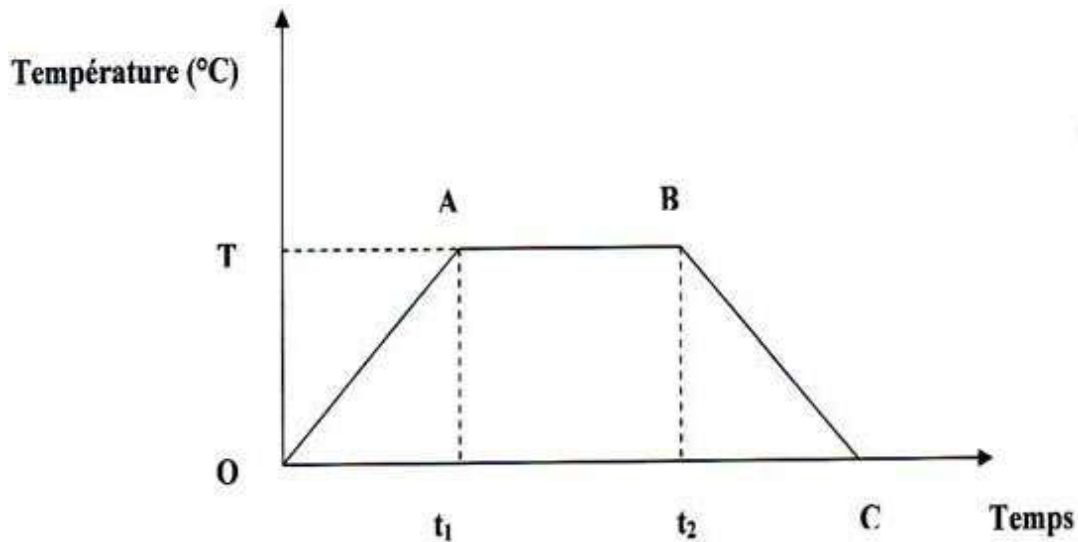


Figure.II.3: Cycle thermique.

➤ **Chauffage (courbe OA):**

Le chauffage (généralement assez lent) est effectué de la température ambiante jusqu'à une température T dite la température de traitement thermique.

➤ **Le maintien (droite AB):**

La température est maintenue constante, de temps T_1 au T_2 . Cette durée dépend de la conductibilité thermique de l'alliage à traiter et de la cinétique des réactions qui se déroulent dans cet alliage à la température de traitement.

➤ **Refroidissement (courbe BC):**

Durant cette opération la température du métal est ramenée à la température ambiante.

Le refroidissement peut être rapide ou lent, la vitesse de refroidissement dépend du type de traitement et influe sur les caractéristiques finales du matériau traité.

Remarque :

-**Durant le chauffage :** La surface de la pièce s'échauffe plus vite que le cœur du métal. Il est donc évident qu'il faut maintenir la pièce à la température T pour égaliser les deux températures, ce gradient de température est d'autant plus élevé que la pièce est

volumineuse ou que son matériau est mauvais conducteur de la chaleur.

-**Au Refroidissement** : La surface de la pièce se refroidit plus vite que le cœur, la vitesse de refroidissement au cœur de la pièce dépend du milieu de refroidissement.

Milieus de refroidissement :

- Faible vitesse : Au four, à l'air;
- Vitesse moyennes : à l'air soufflé, dans l'huile;
- Grandes vitesses : dans l'eau douce, dans l'eau salée.

IV. Microstructure:

La microstructure décrit l'ensemble des grains ou des particules microscopiques qui caractérisent la structure d'un grand nombre de matériaux.

On peut caractériser la microstructure des matériaux à différentes échelles selon ce que l'on cherche à observer. Pour chaque échelle il faut faire appel à un outil de taille appropriée, de l'échelle macroscopique à l'observation de la microstructure et à la détermination de l'arrangement des atomes. Ces analyses mettent successivement en jeu le microscope optique (observation du mm au μm), le microscope électronique (observation 100 au nm) et la diffraction des rayons X dont la longueur d'onde est de l'ordre du dixième de nm, on étudie les structures cristallines [7,18].

IV.1. La macrographie:

La macrographie consiste en un examen d'ensemble d'une structure métallique ou d'alliage qui s'effectue à l'œil nu, ou avec de faible grossissement (inférieur à 100). Cet examen peut aussi s'effectuer sur des sections prélevées sur des ébauches (lingots, pièces de forge...) que sur des produits finis. Il permet de déterminer l'allure de la constitution cristalline de grandes

surfaces qui doivent être soigneusement polies d'un papier émeri fin en évitant tout écrouissage au cours de travail. Puis cette surface soumise à une attaque par des réactifs appropriés. Ce réactif agit par une dissolution à vitesse inégale de la surface métallique et crée ainsi des différences de niveau permettant l'observation. La macrographie met en évidence :

la grosseur et la forme des grains : de petits grains traduisent en général un refroidissement rapide alors que les gros grains supposent un refroidissement lent.

les traitements mécaniques en observant la déformation des grains (déformation à froid, la différence de taille de grain (déformation à chaud)

-La répartition d'inclusion ou de cavités.

IV.2. Lamicrographie:

La micrographie a pour but principal la mise en évidence de la structure de l'échantillon et des inclusions métalliques, des microfissures et aussi de l'organisation de diverses phases présentes (leur taille, leur forme, leur distribution) donc sa microstructure. L'obtention de la surface d'examen nécessite une suite d'opération allant du prélèvement effectué sur le produit à l'attaquemicrographique.

IV.2.1. Observation par microscopie :

La micrographie à pour but principal la mise en évidence de la structure de l'échantillon et des inclusions métalliques, des microfissures et aussi de l'organisation de diverses phases présentes (leur taille, leur formes et leur distribution).

L'obtention de la surface d'examen nécessite une suite d'opération allant du prélèvement effectuer sur le produit a l'attaque micrographique.

a- Observation par microscope optique:

Du fait de son pouvoir de résolution insuffisant, il n'est utiliser on pratique que pour la détermination de la structure et la texture granulaire des matériaux étudiés

b- Microscopie électronique à balayage : est utilisé afin d'observer plus finement l'état de surface des matériaux et rendre compte des précipités grossiers présents dans les divers matériaux. Le principe de l'imagerie **MEB** consiste à composer une image de surface à partir des électrons secondaires éjectés du matériau sous l'effet du faisceau primaire. L'énergie de ces électrons dépend directement de l'énergie des électrons primaires et du numéro atomique de l'élément qui interagit avec le faisceau primaire [7].

IV.2.2 : Importance de la métallographie :

L'étude métallographique est un moyen de contrôle essentiel de la structure micrographique des matériaux métalliques.

Toute étude de matériaux métalliques passe presque toujours par l'étude des constituants micrographiques. Ce sont eux qui donnent aux métaux leurs différentes caractéristiques mécaniques. Toutes les étapes de la vie d'un matériau sont concernées : Mise au point, utilisation, détérioration par corrosion.

Grâce à de nombreux microscopes optiques et caméras vidéo, il est possible de visualiser tous types de surfaces avec un grossissement pouvant aller jusqu'à 1000 fois. De ces nombreuses observations, et grâce à une bonne connaissance de la physique des

solides et des diagrammes de phases des matériaux, une analyse précise peut être menée, et de nombreux paramètres tels que la vitesse de refroidissement ; la grosseur des grains ; l'homogénéité; la présence d'impuretés peuvent être visualisés, et on peut très rapidement avancer dans la compréhension des diagrammes d'équilibre.

Conclusion

De notre travail dans ce mémoire de master, nous avons conclu la suit :

- Dans ce travail, nous avons appris le fonctionnement de la machine hydraulique d'essai

universelle WP310 , leur constituant éléments et les capteurs qui y sont appliqués,D'après nos recherches bibliographiques et expérimentales, nous avons conclu que lesessais de tractions sont très importants dans les caractérisations des matériaux et ladétermination de ses propriétés mécaniques (la dureté, le coefficient allongement, larésistance de la rupture, la limite d'élasticité et le module du Youg etc....).

La détermination de propriétés mécaniques par l'essai de traction est plus complexe etplus difficile à interpréter qu'elle n'apparaît qu'a première vue, à cause de la dépendance

de plusieurs facteurs et phénomènes influant pendant et après les essais (qualité d'appareilde traction et d'éprouvette, formation des microfissures, la température etc ...).

Peuvent être utilisés. La force et le déplacement sont enregistrées par des capteurs, affichées et peuvent être traitées sur un PC. Contenu didactique / Essais Système de base pour l'application d'efforts de compression et de traction pour les essais de matériaux.

Chapitre III

L'essai de traction uni- axiale

Introduction :

La méthode classique de l'essai des matériaux est la méthode d'essai destructive. Elle consiste à tester mécaniquement des éprouvettes jusqu'à ce qu'elles se cassent. L'essai des matériaux met à disposition des données de dureté, de rigidité et de résistance, qui sont reproductibles et quantifiées avec exactitude.

Les essais mécaniques ont pour but de déterminer un certain nombre de caractéristiques des métaux et alliages : aptitude à la déformation par traction ou compression, résistance à la pénétration ... etc.

Les résultats obtenus dans ces différents essais qui mettent en œuvre des techniques particulières sont en relation direct avec la structure du métal et permettent de prévoir son comportement dans les conditions réelles de l'utilisation. [17]

III.1. Les essais mécaniques :

Les propriétés mécaniques des métaux et alliages sont d'un grand intérêt puisqu'elles conditionnent, non seulement les problèmes de mise en forme des matériaux, mais également leur comportement en service dans des applications industrielles extrêmement diversifiées. Le choix du matériau d'une pièce industrielle dépendra de ses propriétés mécaniques telles que : la résistance, la dureté, la ductilité...etc. Il est donc nécessaire de mesurer ces grandeurs physiques par des essais mécaniques.

Les essais mécaniques sont des expériences dont le but est de caractériser les matériaux et de déterminer les lois qui décrivent leur comportement dans des conditions données. Une loi de comportement est une relation qui relie les contraintes aux déformations et à d'autres paramètres qui influent sur le comportement de ces matériaux.

Cependant, la déformation d'une pièce dépend de la géométrie de celle-ci, et de la manière dont sont exercés les efforts extérieurs sur cette pièce, d'où la nécessité de normaliser les essais. Les normes définissent donc :

La forme de la pièce d'essai dont on teste le matériau, on parle alors d'éprouvette normalisée.

Les essais mécaniques normalisés se divisent en deux catégories : les essais mécaniques unis axiaux et les essais mécaniques multiaxiaux.

III.I.1 Les essais mécaniques unis axiaux:

Les essais mécaniques unis axiaux les plus classiques sont ceux de traction, de compression, de torsion et de flexion. La sollicitation est alors appliquée au matériau jusqu'à sa rupture ou jusqu'à une déformation suffisamment grande. [16]

➤ Essai de traction uni axiale:

Parmi tous les essais mécaniques, L'essai de traction est l'un des essais mécaniques les plus fréquents, comme nous le verrons,. Il sert à déterminer les principales caractéristiques mécaniques telles que le module d'élasticité, le coefficient de Poisson, la limite d'élasticité, la résistance à la rupture, l'allongement à la rupture et le coefficient de striction.

Ensuite on peut calculer plusieurs caractéristiques mécaniques

- le module d'élasticité longitudinal (E),
- (le coefficient du Young),
- la résistance limite élastique (σ_e),
- la résistance à la rupture (σ_r), - le coefficient d'allongement (A%),
- Le coefficient de poisson de la dureté de quelques matériaux etc.

Son exécution est facile et Les résultats obtenus servent à dimensionner toutes sortes des pièces allant d'un pignon microscopique jusqu'à la structure métallique d'un grand hall. Dans la recherche, on l'applique pour la caractérisation de nouveaux matériaux et dans l'industrie pour les contrôles périodiques servant à surveiller la qualité des alliages d'aluminium.

Le but de notre mémoire est de caractériser l'aluminium et son alliage de 6063 par l'intermédiaire de l'essai de traction réalisée grâce à la machine hydraulique d'essai universelle WP310

Nous donnons ici tout d'abord la description générale de la machine hydraulique d'essai universelle WP310 et ses éléments .Ainsi, nous concentrons sur les préparations des éprouvettes et les mesures de déformations et des charges appliquées

- **Principe de l'essai de traction:**

Donc, notre essai de traction consiste à soumettre une éprouvette normalisée de forme cylindrique à un effort de traction jusqu'à sa rupture. L'essai est réalisé à température ambiante.

Il est réalisé sur une machine hydraulique d'essai universelle WP310 qui enregistre simultanément les efforts (F) et les allongements (ΔL) en valeurs numériques et sous forme des courbes à l'aide d'un microordinateur lié à elle.

- **L'éprouvette pour l'essai**

Puisque, on utilise des éprouvettes cylindriques, on doit respecter un rapport bien précis entre la longueur de référence (L_0) et le diamètre initial (d_0) de la section droite de l'éprouvette. L'allongement de l'éprouvette peut être mesuré en enregistrant le déplacement relatif des têtes de serrage à coin.

Généralement on prend : $L_0 = 5d_0$ (norme ISO 6892-1) Sachant que la section $S_0 = \pi \cdot d_0^2 / 4$, donc : $d_0 = 1,13 \sqrt{S_0}$

Alors, On peut exprimer la longueur de référence L_0 comme suite :

$$L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$$

On a :

D : la longueur des deux têtes d'amarrages

: La longueur calibrée.

= 6 mm : Diamètre initial de l'aire de la section droite de l'éprouvette

= 30 mm : La longueur de référence

est donnée par la formule suivante :

$$L_0 + 2 d_0 \geq L_C \geq L_0 + 0,5 d_0$$

Le diamètre de la tête d'amarrage l'éprouvette est :

Figure (III.1) : Forme d'éprouvette cylindrique

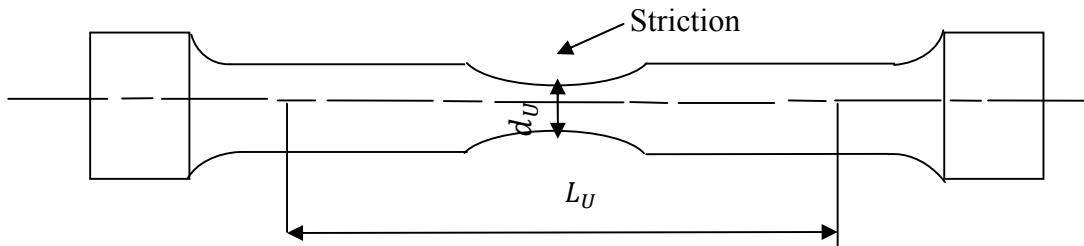
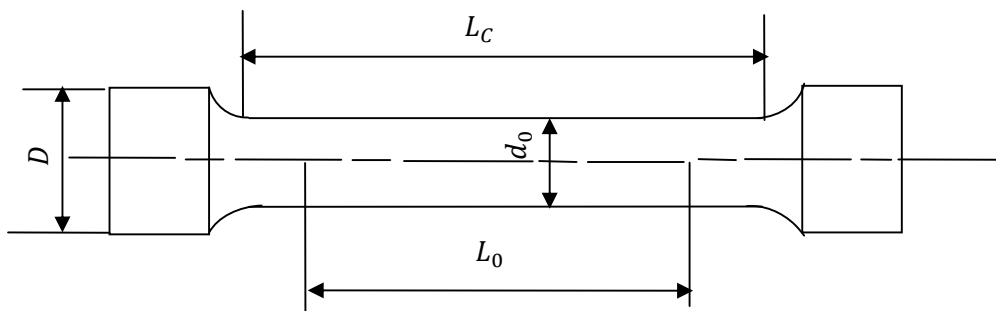


Figure (III.2) : Forme d'éprouvette cylindrique après rupture



Longueur ultime entre deux repères (après rupture de l'éprouvette et reconstitution de celle-ci en rapprochant soigneusement les deux fragments)

Diamètre de la Section ultime (la section minimale après la rupture de l'éprouvette).

Courbe de traction:

Le diagramme de traction représente l'évolution de la charge unitaire $R=F/S_0$ en .En réalité, la courbe de traction présente généralement un autre aspect FigureIII.3 ,car les matériaux ne sont jamais parfaits.

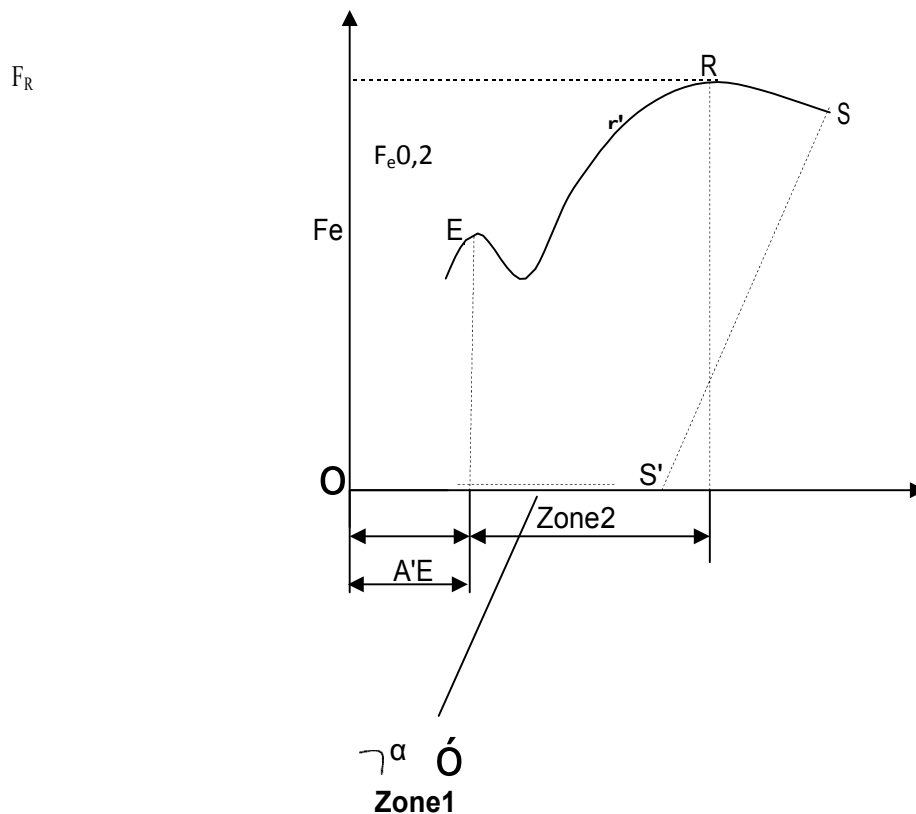


Figure.III.3.Courbe de traction.

Lecture et interprétation de la courbe de traction:

L'éprouvette est mise en place, la charge est appliquée progressivement. Trois domaines sont mis en évidence par le diagramme.

Domaine OE:

Domaine élastique ou la déformation est réversible une fois la charge supprimée. Le point E correspond à la limite R_e . Dans le domaine OE la charge est proportionnelle à l'allongement. La loi de variation de la charge en fonction de l'allongement ϵ est connue sous le nom de la loi de HOOKE donnée par :

$$R = E \epsilon$$

Domaine ER:

Domaine de déformation permanente ou déformation plastique, le matériau subit une déformation homogène dite plastique qui est permanente après suspension de la charge

Avec R : point de charge maximale R_m appelée charge de rupture ou début de striction.

Domaine RS:

Domaine de striction ou la section de l'éprouvette subit une réduction jusqu'à la rupture au point S. La variation de cette réduction du diamètre tout au long de l'essai, nettement visible est appelé Coefficient de Striction. [16]

Caractéristique mécanique de l'essai de traction :

Dans le cas d'aluminium et ses alliages, la résistance limite élastique (Limite d'élasticité) n'est pas apparente, alors par convention, la limite élastique apparente, ($R_p 0,2$ ou $R_e 0,2$) est considéré comme la contrainte correspondant à un allongement permanente égale à 0,2 % de la de l'éprouvette [23-36]

ou (à la traction) :

La résistance à la rupture est la charge maximale appliquée à la section d'éprouvette sollicitée (MPa)

F_m : charge maximale.

Allongement à la rupture:

L'allongement (A%) indique l'aptitude d un matériau à se déformer plastiquement sans se rompre, donc l'allongement est un indicateur de la ductilité du matériau.

- -si $A\% > 5\%$ le matériau est considéré comme ductile.
- - si $A\% < 5\%$ le matériau est considéré comme fragile «cassant».

le coefficient d'allongement (A%) est donné par :

$X100$

L_u : longueur ultime (mesurée en raboutant les deux morceaux de l'éprouvette cassée).

L_o : longueur initiale ou référence (la distance entre deux repères tracés sur l'éprouvette avant l'essai). Coefficient de striction (Z%) :

il est aussi considéré comme un autre indicateur de ductilité du matériau.

le coefficient de striction Z% est exprimé par :

Où

S_o : Section initiale

S_u : Section ultime (à l'endroit de la cassure de l'éprouvette cassée).

Module d'Young (Module d'élasticité longitudinale) :

Le module d'Young (E) est la pente de la courbe contrainte - déformation dans le domaine élastique en traction pure, il est défini par la loi de Hooke

Avec :

: L'allongement.

: La contrainte .

: La déformation.

Chapitre IV

Procédé de caractérisation de matériau par traction uni- axiale

Introduc

L'essai de traction nous permet de déterminer plusieurs propriétés mécaniques des matériaux tel que le module d'élasticité longitudinal (E), (le coefficient du Young), la résistance limite élastique (σ_e), la résistance à la rupture (σ_r), le coefficient d'allongement (A%), de la dureté de quelques matériaux etc.

Le but de notre travail est de faire connaître le fonctionnement de la machine de traction hydraulique d'essai universelle WP310 et des capteurs qui y sont appliqués. Ainsi de caractériser un alliage d'aluminium de la série 6000 par l'intermédiaire de l'essai de traction réalisée grâce à la machine hydraulique d'essai universelle WP310

Nous donnons ici tout d'abord la description générale de la machine hydraulique d'essai universelle WP310 et ses éléments puis, nous avons concentré sur les préparations des éprouvettes et les mesures de déformations et des charges appliquées

1. Description générale de la machine de traction

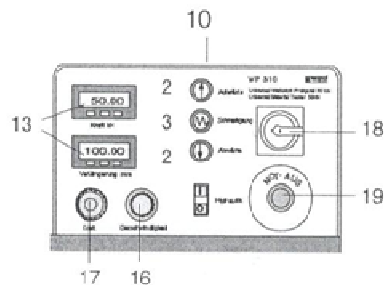
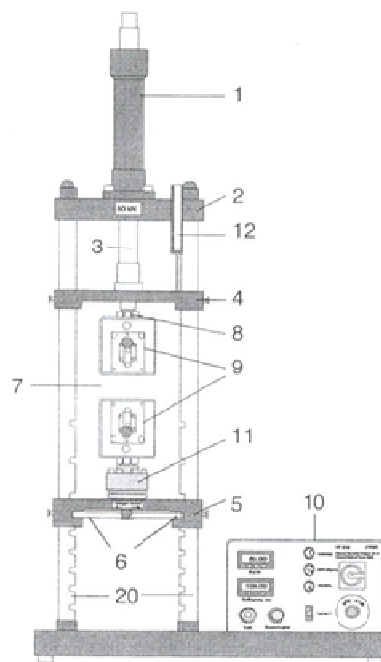
Grâce à la clarté du montage et à la facilité d'utilisation la machine hydraulique d'essai universelle WP310, nous pouvons observer tous les détails et les phases de l'essai. Des données techniques des matériaux et des lois fondamentales peuvent être vérifiées à l'aide de valeurs de mesure par cette machine.

Cette machine est un appareil d'essai vertical à colonne à entraînement hydraulique avec génératrice directe d'énergie. La force de traction maximale peut atteindre 50 KN ..

La machine hydraulique d'essai traction universelle WP310 est constitué de.

- un vérin hydraulique à double effet (1)
- Une traverse (2)
- Une tige de piston (3) agit sur la traverse supérieure (4).
- Une traverse inférieure (5) qui peut être déplacée en plusieurs positions pour le réglage de la hauteur.
- Des rainures et languettes (6)
- Deux colonnes (20)
- un espace de travail (7).
- Des logements cylindriques (8) permettent de changer les différents éléments
- Des têtes de serrage à coin (9).

- boîtier des indicateurs de la force et le déplacement, le groupe hydraulique et la commande de la machine (10).
- un transducteur de force (11) à la traverse inférieure pour la mesure de force se fait via.
- un capteur de déplacement(12).
- Un afficheur numériquement de la force (13)
- des boutons- poussoirs (14) .
- un circuit d'avance rapide (15)
- l'interrupteur principal (18),
- un bouton-poussoir d'arrêt d'urgence (19)



Figure(IV.1) : vue globale de la machine WP 310

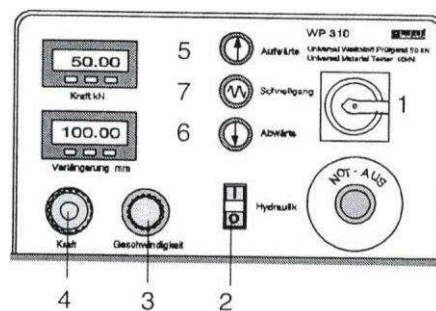
2.Utilisation de la machine WP310

Le fonctionnement de la machine hydraulique WP310 s'envisager dans

2.1.entraînement hydraulique :

La manipulation de la machine WP310 set selon les étapes suivantes :

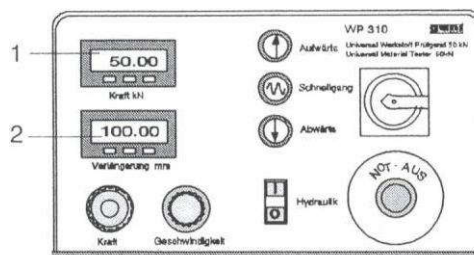
- Engrenage de la machine hydraulique wp310 avec l'interrupteur principal (1)
- Raccordement de la pompe hydraulique avec l'interrupteur (2)
- Ajustement de la vitesse de déplacement avec le régleur (3)
- Adaptation de la force de traction avec le régleur de la force (4)
- Avec le bouton (5), on peut déplacer la traverse supérieure vers le haut
- les touches (5) et (7) sont pour le mouvement rapide de la traverse,



Figure(IV.2) : Utilisation de la machine WP310

2.2.Mesure de déplacement et la force

La mesure du déplacement peut être de deux manières: soit en plaçant un dispositif de mesure sur la section utile de l'éprouvette, soit en mesurant le déplacement de la traverse. L'affichage de la force (1) et du déplacement (2) est numérique



Figure(IV.3) : Affichage de déplacement et la force

3.Acquisition de données assistées par ordinateur

La machine hydraulique WP310 permet la saisie et l'exploitation des données de mesure avec un pc (ordinateur) .Le logiciel muni fait la mémorisation, l'élaboration et l'impression de diagrammes force / allongement

Le system d'acquisition de données de la machine d'essai WP 310 comprend les composants suivants :

- Une boite dynamométrique électrique
- Un capteur de déplacement électrique
- Un amplificateur de mesure pour la force et le déplacement avec affichage numérique et interface
- un micro ordinateur pour faire tourner le logiciel de traitement
- une imprimante pour imprimer les résultats et le graphe

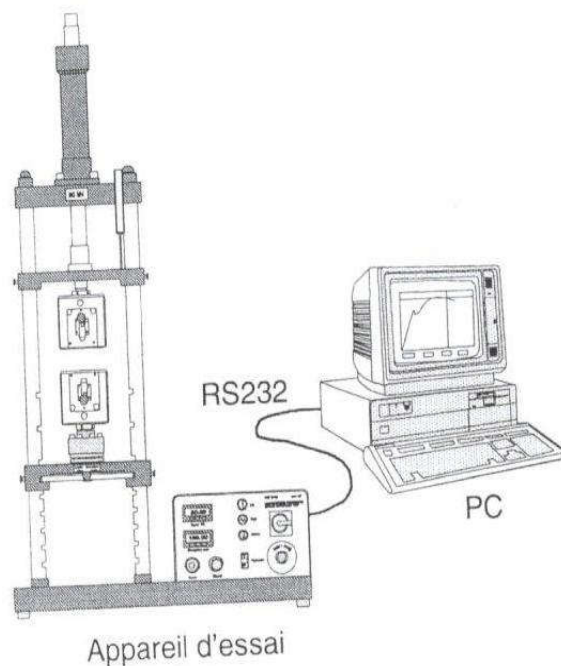


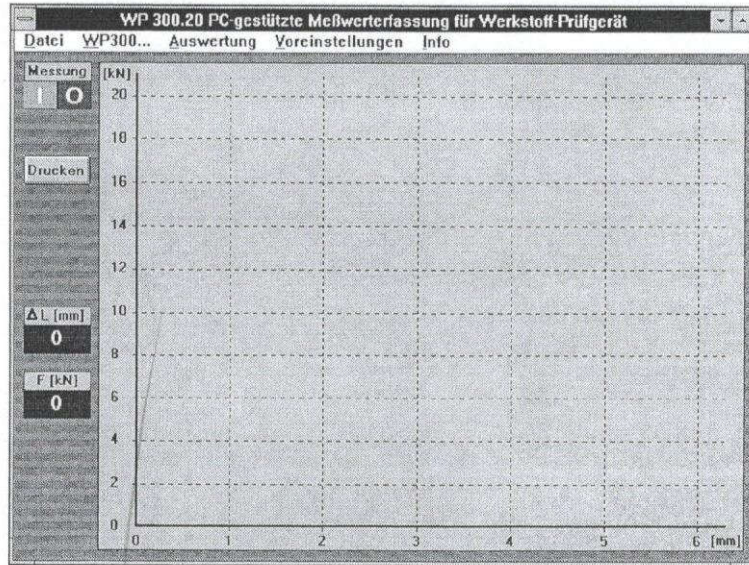
Figure (IV .4): System d'acquisition de données de la machine d'essai WP 310

4.Interface utilisateur

Lorsque le programme démarre, la fenêtre principale est affichée. A partir de celle-ci, on peut exécuter les actions suivantes :

- Exécuter l'essai de traction
- Terminer l'essai

- Imprimer le contenu de l'écran
- Appeler le menu
- Tracer une courbe



Figure(IV.5) : Fenêtre principale

5. Eprouvettes

Les éprouvettes de l'essai de traction par la machine hydraulique WP310 adopter deux formes géométriques : plate ou cylindrique. La section transversale de l'éprouvette doit être constante sur une longueur suffisante pour obtenir un état de contrainte homogène pendant l'essai.

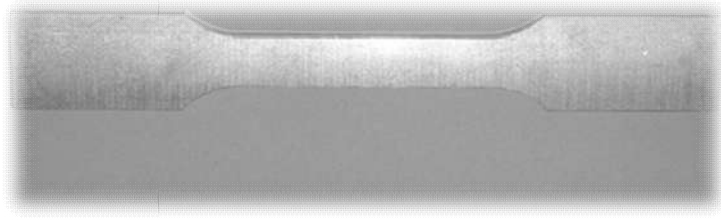
Dans les cas des éprouvettes cylindriques les deux extrémités sont usinées des têtes de blocage avec des rayons de courbures suffisamment grands pour éviter des concentrations de contrainte excessives.

Généralement la fabrication des éprouvettes est obtenue par usinage d'un enlèvement du matériau à essayer ou d'une ébauche moulée.

Les dimensions des éprouvettes cylindriques en aluminium doivent satisfaire les critères suivants :

Diamètre : 6mm

Longueur : 132mm



Figure(IV.6) : Epreuve plate



Figure(IV.7) : Epreuve cylindrique

6. Procédure de l'essai de traction

L'essai de traction est selon les étapes suivantes :

1. Préparation de la machine :

Premièrement, on fait placer l'éprouvette verticalement entre la tête de serrage à coin inférieure et la tête supérieure puis la serrer. En faisant l'affichage dans l'écran à zéro et mettant l'éprouvette sous légère précontrainte (1 KN)

2. Réalisation de l'essai de traction

Après placer l'éprouvette verticalement entre la tête de serrage à coin inférieure et la tête supérieure, on fait lancer la saisie des données par un clic sur le champ vert, en suite l'essai peut commencer et le diagramme force-déplacement se dessine en direct à l'écran jusqu'à la valeur de rupture de l'éprouvette. On peut voir l'affichage des valeurs numériques de la force et l'allongement.

3. Enregistrement des résultats

Après avoir supprimé les résultats des essais précédentes, on peut enregistrer les nouveaux résultats (des valeurs numériques ou des courbes)

dans des fichier- Charger. Ainsi, on enregistre les informations de l'éprouvette (dimensions des éprouvettes, le type de matériau et la date de déroulement de l'essai etc....)

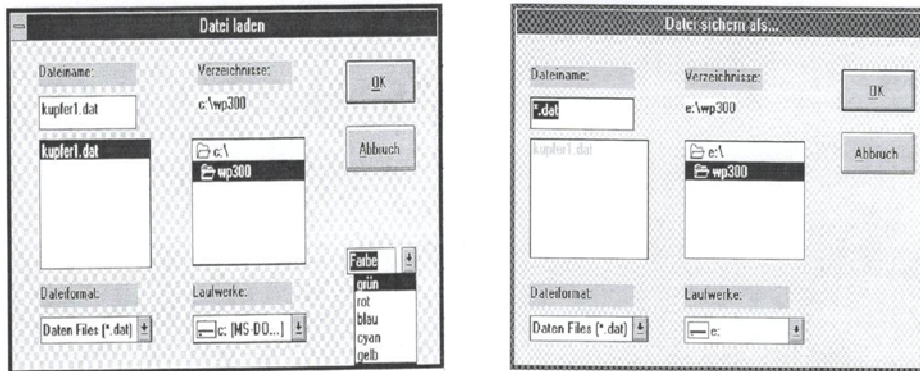


Figure (IV.8) : fichier d'enregistrement des courbes

4. Interprétation des résultats

Dans la phase d'interprétation on élabore et on affiche les courbes et les tableaux tension –allongement et force-allongement puis on les interprète et les discute.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

De notre travail dans ce mémoire de master, nous avons conclu :

- L'aluminium et ses alliages, est l'un des métaux les plus utiles sur le monde de part ses différentes propriétés, son faible coût son esthétique et de production.
- La capacité d'aluminium d'innovation et de sa capacité à se positionner comme le métal par excellence dans le domaine du développement durable sont les paramètres des succès de l'industrie de l'aluminium
- que le fonctionnement de la machine hydraulique d'essai universelle WP310 , leur constituant éléments et les capteurs qui y sont appliqués, sont bien adaptés pour l'essai de traction d'aluminium et ses alliages
- que on peut faire des autres types d'essais sur cette machine tel que ; l'essai de dureté, de compression, de flexion et de fatigue
- D'après nos recherches bibliographiques et expérimentales, nous avons conclu que les essais de tractions sont très importants dans les caractérisations des matériaux et la détermination de ses propriétés mécaniques (la dureté, le coefficient d'allongement, la résistance à la rupture, la limite d'élasticité et le module de Young etc....).
- La détermination de propriétés mécaniques par l'essai de traction est plus complexe et plus difficile à interpréter qu'elle n'apparaît qu'à première vue, à cause de la dépendance de plusieurs facteurs et phénomènes influant pendant et après les essais (qualité d'appareil de traction et d'éprouvette, formation des microfissures, la température etc ...).
- Le travail de ce mémoire est d'actualité car les études de propriétés physiques et mécaniques de l'aluminium et ses domaines d'application seront à la pointe de la technologie.
- L'analyse et l'étude des propriétés de l'aluminium et ses alliages peuvent être un avantage dans l'industrie, et d'autre part pour combler les défauts du métal pur.
 - Nos recherches et nos expériences, nous ont donc permis de venir compléter et améliorer, nos quelques connaissances et compréhension générale sur le sujet via l'essai mécanique et le matériau d'aluminium.

Résumé

Résumé :

Les différents traitements thermiques ont un rôle très important à la naissance de nouveaux matériaux qui avaient des propriétés spectaculaires. La détermination de leurs propriétés mécanique, physique et chimique nécessite des essais destructifs et non destructifs, parmi les essais destructifs on a l'essai de traction qui permet de trouver les caractéristiques mécaniques d'un matériau (coefficient d'allongement, module d'Young, la limite d'élasticité etc.) Ce travail de master consacre à la détermination de propriétés mécaniques d'aluminium nu et allié (alliage 6063) par l'essai de traction. En premier lieu, nous avons préparé des éprouvettes de formes cylindriques du métal désiré. Des échantillons d'elles ont subi aux essais de traction avant traitement thermique et les autres éprouvettes en alliage 6063 ont subi à des traitements thermiques (échauffement à différentes vitesses - trempe à huile) puis elles ont soumis à l'essai de traction. En fin, nous avons regroupé les résultats sous des courbes et des valeurs dans des tableaux.

ملخص :

تلعب المعالجات الحرارية المختلفة دوراً مهماً للغاية في والدة مواد جديدة لها خصائص مذهلة. يتطلب تحديد خواصها الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية اختبارات مدمرة وغير مدمرة ، ومن بين الاختبارات المدمرة ، يتم استخدام اختبار الشد للعثور على الخصائص الميكانيكية للمادة (معامل السطالة ، معامل يونغ المرونة ال) في .يكرس عمل هذا الماستير لتحديد الخواص الميكانيكية للألمنيوم والسبائك (سبيكة 6063) عن طريق اختبار الشد خضعت عينات منها للاختبارات الشد قبل المعالجة الحرارية ، المقام الأول ، تم تحضير عينات أسطوانية من المعدن المطلوب وتعرضت العينات الأخرى المكونة من 6063 سبيكة للمعالجات الحرارية (التدفئة بسرعات مختلفة - تبريد الزيت) ، ثم خضعت في النهاية ، قمنا بتجميع النتائج في منحنيات وقيم الاختبار الشد.

Bibliographies

Bibliographies

- [1] Guy Murry. Généralité sur L'aluminium et ses alliages. Aide-mémoire Métallurgie. Dunod, Paris, 2004, 2010.. Page (202-213). (Deuxièmes édition).
- [2] Gérard Hartmann, L'aluminium historique,
« <http://www.hydroretro.net/etudegh/aluminiumhistorique.pdf> ».
- [3] JM. DORLOT JP. BAILON J. MASOUNAVE. Des Matériaux. Montréal,
Editions de L'Ecole Polytechnique de Montréal, 1986.
- [4] Develay, R., Données numériques sur l'aluminium non allié, Les Techniques de l'ingénieur. M443.
- [5] Jean BAILON et J.M. DORLOT Des matériaux 3eme édition, école polytechnique de Montréal, 2000.
- [6] g.FANCY et POMPIDOU, Précis de fonderie : méthodologie, production et normalisation ; AFNOR 2eme édition 1992.
- [7] Jean BARRALIS et Gérard MEADER Pièces – métallurgie élaboration , structure; propriété, normalisation, AFNOR NATHAN paris 2001.
- [8] Michel COLOMDIE et COLL Matériaux industriels : matériaux métalliques Edition DUNOD ?paris 2000. Fabrication de l'aluminium et de ses alliages, page (343 - 376).
- [9] I.LAKHTINE
Métallographie et traitements thermiques des métaux, 4eme édition, MIR. MOSCOU 1986.
- [10] Jean PHILIBER, Alain VIGNES, Yves BRECHET
Métallurgie du mènèrai aux matériaux Edition MOSSON, paris 1998.
- [11] : Bauxite,
«http://spcfa.spip.acrouen.fr/IMG/nvx_prog_terms/Chimie%20Sp%E9cialit%E9/S%E9paration%20d'esp%E8ces%20m%E9talliques/Bauxite.pdf».
- [12] : C. Vargel, corrosion de l'aluminium, edition Dunod, 1999.
- [13] J.E. Hatch, Aluminium Properties and Physical Metallurgy, Ohio: Metals Park, 319p, 1984.

Bibliographies

[14] : W.S.Miller, L.Zhuang, J.Bottima, A.J.Witterbrood, P De Smet, A.Haszler,A.Vieregge, Recentdeveloppement in aluminium alloys for the automotiveindustry. Materials science and engéniring , A280, Vol280, pp. 37-49,2000.

[15] : LycéeRaymondLOEWY

«http://www.educreuse23.ac_limoges.fr/loewy/aa/voisin/ALUMINIUM.pdf».

[16] : U.S.A : ASTM E8 : "Standard Methods of Tension Testing of MetallicMaterials"

Norme ISO 6892 :Matériauxmétalliques – Essai de traction.

[17]Brunos DUBOS, Pierre SAIN FORT

Technique de l'ingénieur, durcissement par précipitation des alliagesd'aluminium