



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département de Génie mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : génie métallurgie

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
NAILI RAZIKA

Le : jeudi 17 juin 2021

L'effet de traitements thermiques sur le ZAT de l'acier de bouteille à gaz

Jury :

Dr. DJELAB Mounir	MCA	Université de Biskra	Président
Mme. LAMMEDI Fatima Zohra	MCB	Université de Biskra	Encadreure
Dr. BENTRAH Hamza	MCA	Université de Biskra	Examinateur

بِسْمِ
اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ
الرَّحِیْمِ



REMERCIEMENTS

A tous les êtres chers dont le soutien nous a été indispensable.

Je remercie mon encadreur Dr. Fatima Z. LEMMADI pour sa direction et ses conseils constructifs

Nous tenons à remercier tous les membres du jury en l'occurrence Dr. Mounir DJELAB d'avoir accepté de présider le jury et Dr. Hamza BENTRAH qui nous a fait l'honneur de traiter et d'évaluer notre travail

Nos remerciements vont également à tous nos enseignants de métallurgie pour les formations dispensées, pour la richesse scientifique exprimée et pour tous ses conseils alloués durant les années de formation.

Je remercie également tous les responsables de l'entreprise SNS BAG Batna pour leurs accueils, aides, et efforts particulièrement Madame A. BOUMAARAF et Y. BOURASSE

Mes remerciements vont également à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

DÉDICACE

Je dédie ce travaille à mes chers parents surtout ma
maman qui grâce à leur sacrifice et leur amour, Je suis
arrivé à ce niveau.

A mes belles sœurs ZAHIRA, RIMA, HANANE

A mes chers frères ABD EL HEK et MOUNIR

et à toute la famille Naili

A tous mes amis, en particulier DJERADI FAROUK et
chers amis, la promotion du deuxième master en génie
métallurgique 2021

A toute personne qui ma aidée dans ce travail.

Naili Razika

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction général..... 01

CHAPITRE I

I.1. Introduction	02
I.2.Généralités sur les aciers	02
I.2.1.Définition de l'acier	02
I.2.2. Fabrication de l'acier	02
I.2.3. Structures des aciers	02
I.2.4 Classification des aciers	05
I.2.4.1. Les aciers ordinaires ou aciers au carbone	05
I.2.4.2. Les aciers de traitements thermiques	06
I.2.4.3 Les aciers à outils	07
I.2.4.4 Les aciers inoxydables.....	07
I.2.5. Influence spécifique des éléments d'addition sur les aciers	07
I.3.Soudage des aciers et le traitement thermique	08
I.3.1. Définition du soudage	08
I.3.2. Principe de soudage	08
I.3. 3.Caractéristiques de la soudure	08
I.3.3.a. La zone fondue(ZF).....	09
I.3.3.b. La zone affectée thermiquement(ZAT).....	09
I.3.3.c. La zone liaison(ZL).....	09
I.3.3.d. Le métal de base(MB).....	09
I.3.4. Les procédés de soudage.....	10
I.3.4.1 Soudage automatique sous flux solide	11
I.3.5. Les défauts de soudure.....	12
I.3.6. Soudabilité des aciers.....	12
I.4. Traitements thermiques des aciers.....	13
I.4.1. Les type des traitements thermiques des aciers.....	14

Sommaire

I.4.1.1.La trempe.....	14
I.4.1.1.Les types de trempe.....	15
I.4.1.2. Le revenu des aciers.....	15
I.4.1.2.a. Les types de revenu	16
I.4.1.3.Recuit des aciers	17
I.4.1.3.a. Les différents types de recuit	18

CHAPITRE II

II.1.Introduction	20
II.2. Matériau étudié	20
II.2.1. Caractérisation mécanique de l'acier BS2 (P265NB)	20
II.2.2. Métal d'apport.....	20
II.3.Vitesse de soudage	21
II.4.Préparation des échantillons	21
II.5 Les traitements thermiques	22
II.6. Polissage mécanique.....	23
II.7. Microscopie optique (MO)	23
II.8. Essai de traction	24
II.8.1 Découpage.....	24
II.9. Essai de la micro dureté.....	25
II.10.La diffraction de Rayons X (DRX).....	27

CHAPITRE III

III.1.Introduction.....	29
III.2.Les résultats des éprouvettes soudées avec une vitesse de soudage $V = 8\text{mm/s}$...	29
III.2.1.Caractérisation mécanique	29
III.2.1.1.Essai de traction	29
III.2.1.2.La microdureté.....	33
III.3.1.Examen métallographie de l'acier BS2 soudée par vitesse de soudage $=8\text{mm/s}$	33
III.3.2.La diffractions des rayons X.....	36
III.4.Résultats d'essai des éprouvettes soudées avec une vitesse de soudage $= 11\text{mm/s}$	38
III.4.1.Caractérisation mécaniques.....	38
III.4.1.1.Essai de traction.....	38

Sommaire

III.4.1.2.La microdureté.....	42
III.4.2.Examen métallographie de l'acier BS2 soudée par vitesse de soudage = 11mm/s	42
III.4.3.La diffractions des rayons X.....	45
Conclusion générale.....	47
Références bibliographiques.....	48
Annexe	
Résumé	

Liste des figures

Figure I.1 : Microstructure d'un acier hypoeutectoïde	03
Figure I.2 : Structure perlitique	03
Figure I.3 : Microstructure d'un acier hypereutectoïde	04
Figure I.4 : Le diagramme de phase fer-carbone	04
Figure I.5: Principe d'une soudure	08
Figure I. 6: Les différentes zones caractéristiques d'une soudure par fusion	10
Figure I.7 : Procédé de soudage selon les différentes sources d'énergie	11
Figure I. 8 : Soudage à arc submergé sous flux solide	11
Figure I. 9 : Procédé de soudage automatique électrique à l'arc d'une bouteille à gaz	12
Figure I.10 : Influence de la température sur les grains	13
Figure I.11: procédés des traitements thermiques	14
Figure I.12 : Le cycle de la trempe	15
Figure I.13 : Cycle combiné de traitement thermique de Trempe + Revenu	16
Figure I. 14 : Cycle de recuit	18
Figure I. 15:Zones des différents types de recuit	19
Figure II.1 : Schéma de la bouteille spécifiant la zone de prélèvement des échantillons	22
Figure II.2 : Four électrique type CARBOLITE	22
Figure II.3: Four électrique de traitement thermique type Nabertherm	23
Figure II.4:Microscope Optique type OLYMPUS CX40	24
Figure II.5: Éprouvette pour l'essai de traction	24
Figure II.6 : machine de traction ZWICK ROELLZ050	25
Figure II.7: la méthode Vickers de mesure de dureté	26
Figure II.8: Schéma de position de la microdureté appliqué	26
Figure II.9:Microduromètre de type INNOVAYEST	27
Figure II.10: Diffractomètre automatisé type ADVANCE 08	28
Figure III.1: Courbe de traction de tôle soudée (vitesse 8mm/s) éprouvette de référence	30
Figure III.2: Courbe de traction de tôle soudée a vitesse 8mm/s et recuit à 600°C /30min	30
Figure III.3: Courbe de traction de tôle soudée a vitesse 8mm/s et recuit à 600°C /60min	31
Figure III.4: Courbe de traction de tôle soudée a vitesse 8mm/s et recuit à 600°C /90min	31
Figure III.5: Courbe de traction de tôle soudée a vitesse 8mm/s et recuit à 600°C /120min	32
Figure III.6: La variation de la microdureté Vickers de l'acier BS2 (V = 8mm/S) en fonction de temps de maintien.	33

Figure III.7: microstructures de joint soudé soudée à vitesse 8mm/s	34
Figure III.8: Microstructures de joint soudé traité à 600° C /60 min	34
Figure III.9: Microstructures de joint soudé recuit à 600° /90min	35
Figure III.10: Microstructures de joint soudé recuit à 600°C /120min	35
Figure III.11: Spectre de diffraction des rayons X de l'acier BS2	36
Figure III.12: Spectre de diffraction des rayons X de tôle soudée a vitesse 8mm/s et traiter thermiquement	37
Figure III.13: Courbe de traction de tôle soudée par vitesse 11mm/s (éprouvette de référence)	39
Figure III.14: Courbe de traction de tôle soudée par vitesse 11mm/s, recuit 600°C/30min	39
Figure III.15: Courbe de traction de tôle soudée par vitesse 11mm/s recuit600°C /60min	40
Figure III.16: Courbe de traction de tôle soudée par vitesse 11mm/s, recuit 600°C/90min	40
Figure III.17: Courbe de traction de tôle soudé par vitesse 11mm/s, recuit 600°C/120min	41
Figure III.19 : La variation de la microdureté Vickers en fonction de temps de maintien de l'acier BS2 à recuit à600°C	42
Figure III.20: Microstructures de joint soudée à vitesse 11mm/s	43
Figure III.21: Microstructures de joint soudé recuit à 600°C/60min	43
Figure III.22: Microstructures de joint soudé recuit à à 600°/90min	44
Figure III.23: Microstructures de joint soudé recuit à 600°C/ 120min	44
Figure III.24: Spectre de diffraction des rayons X de tôle soudée a vitesse 11mm/s et traiter thermiquement	45
Figure III.25: Spectre de diffraction des rayons X de tôle soudée a vitesse 11mm/s et traiter thermiquement	46

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Aciers ordinaires ou aciers au carbone non alliés	06
Tableau II.1: La composition chimique de l'acier utilisé (P265NB)	20
Tableau II.2: Caractérisation mécanique de l'acier BS2 (P265NB)	20
Tableau II.3: Compositions chimique de métal d'apport	21
Tableau III.1:Résultants des essais de traction vitesse de soudage $V = 8\text{mm/s}$	29
Tableau III.2 : Résultats des essais de traction vitesse de soudage $V = 11\text{mm/s}$	38

Introduction générale

L'acier est un matériau métallique le plus important le plus utilisé dans de nombreuses industries, en raison de ses propriétés physiques, chimiques et mécaniques (les propriétés de base de l'acier sont la formabilité, la dureté élevée, la résistance à la traction, la bonne limite d'élasticité, la bonne conductivité thermique et la résistance à la corrosion de l'acier inoxydable acier).

D'autre part, le soudage est d'une grande importance dans les entreprises industrielles, et le processus de soudage est effectué en fusionnant deux ou plusieurs pièces ensemble au moyen de chaleur ou de pression ou les deux pour former un joint lorsque les pièces refroidissent. Traitement thermique pour conserver de bonnes propriétés.

Dans ce travail nous avons étudié l'effet du traitement thermique sur La zone affectée thermiquement(ZAT) et les distorsions à l'aide d'un logiciel approprié et dans cet esprit, déterminez la zone de distorsions à l'aide de la technique de corrélation d'image de l'essai de traction de l'acier à usage général. Ce mémoire contient trois chapitres, précédé par une introduction générale pour préparer ce qui sera traité :

- Chapitre I : Synthèse bibliographie
- Chapitre II : Matériau et méthodes expérimentales.
- Chapitre III : Résultats expérimentales et interprétations.

Et enfin nous avons résumé les résultats par une conclusion générale.

Chapitre I :
Synthèse
bibliographique

I.1. Introduction :

De tous les alliages métalliques, les aciers sont parmi ceux les plus couramment employés dans les applications industrielles. La grande diversité de leurs nuances et la possibilité de réaliser les traitements thermomécaniques conditionnant les propriétés mécaniques de ces aciers permettent de couvrir une gamme d'applications extrêmement large [1].

I.2. Généralités sur les aciers :**I.2.1. Définition de l'acier :**

L'acier est un alliage métallique constitué principalement de fer et de carbone (dans des proportions comprises entre 0,02 % et 2 % en masse pour le carbone). C'est essentiellement la teneur en carbone qui confère à l'alliage les propriétés du métal qu'on appelle « acier ». Il existe d'autres métaux à base de fer qui ne sont pas des aciers comme les fontes et les ferroalliages par exemple [3].

I.2.2. Fabrication de l'acier :

L'acier s'élabore actuellement de deux manières :

- ✓ Dans un haut fourneau, à partir du minerai de fer et de coke avec réduction du carbone dans un convertisseur.
- ✓ Dans un four électrique, à partir d'acier de récupération. On parle d'acier de recyclage ou d'acier électrique [34].

I.2.3. Structures des aciers :

On distingue trois types d'aciers, selon la teneur en carbone :

- L'acier du type hypoeutectoïde (%C compris entre 0,002% et 0,85%) formé de perlite (ferrite α + cémentite Fe_3C) caractérisée par une structure en lamelles enveloppée dans une phase ferritique.

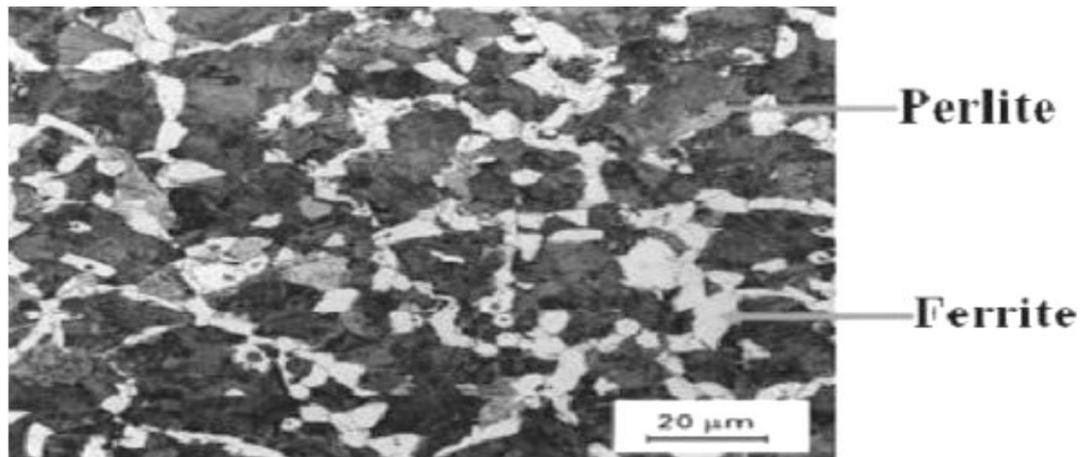


Figure I.1 : Microstructure d'un acier hypoeutectoïde [5].

L'acier du type eutectoïde : (%C = 0,85%) formé de 100% perlite (ferrite α + cémentite Fe₃C) caractérisée par une structure en lamelles.

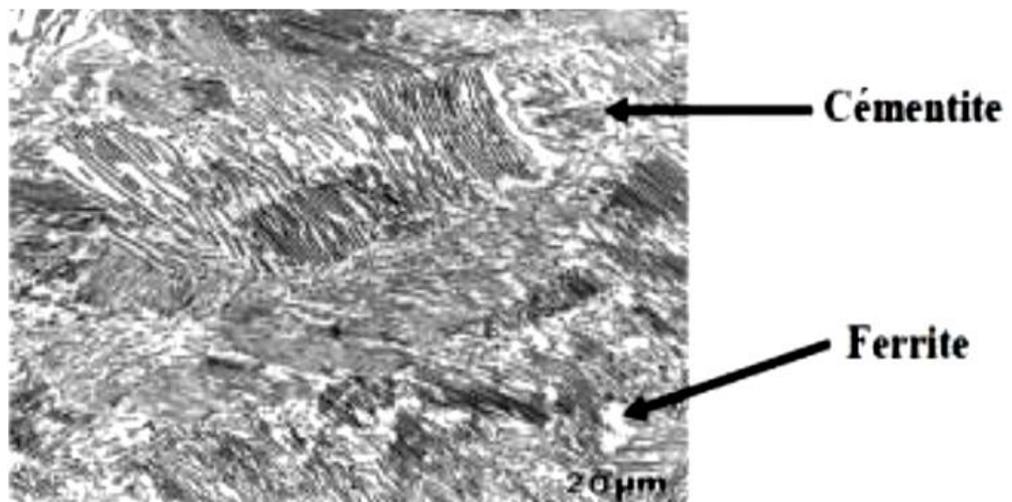


Figure I.2 : Structure perlitique [5].

L'acier du type hypereutectoïde : (%C = [0.85% - 2.1%]) formé de perlite (ferrite α + cémentite Fe₃C) caractérisée par une structure en lamelles enveloppée dans de la cémentite.

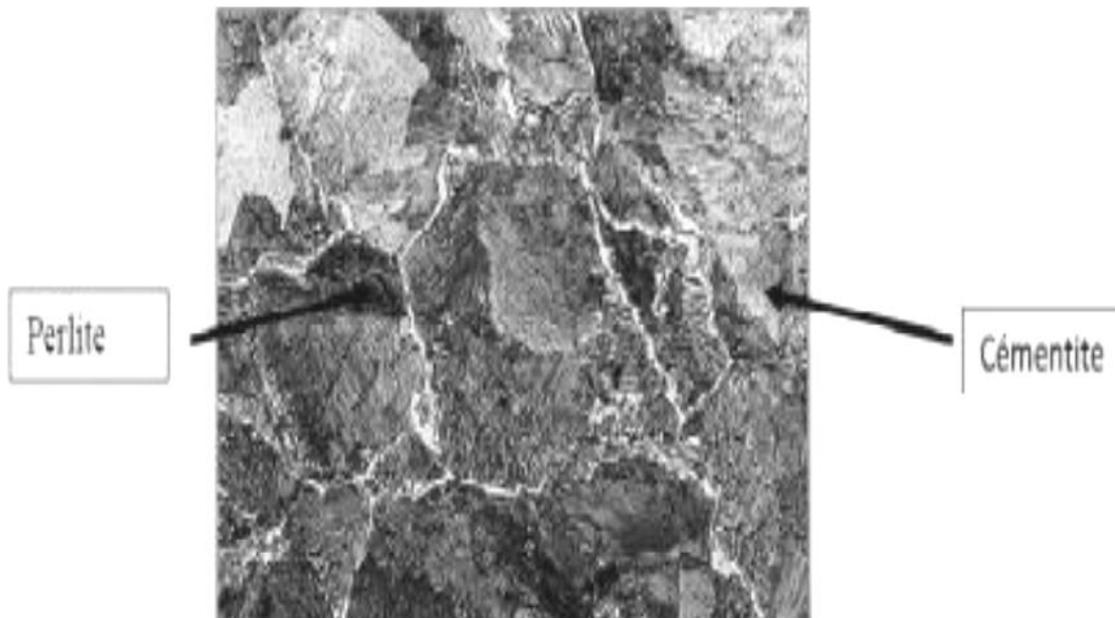


Figure I.3 : Microstructure d'un acier hypereutectoïde [5].

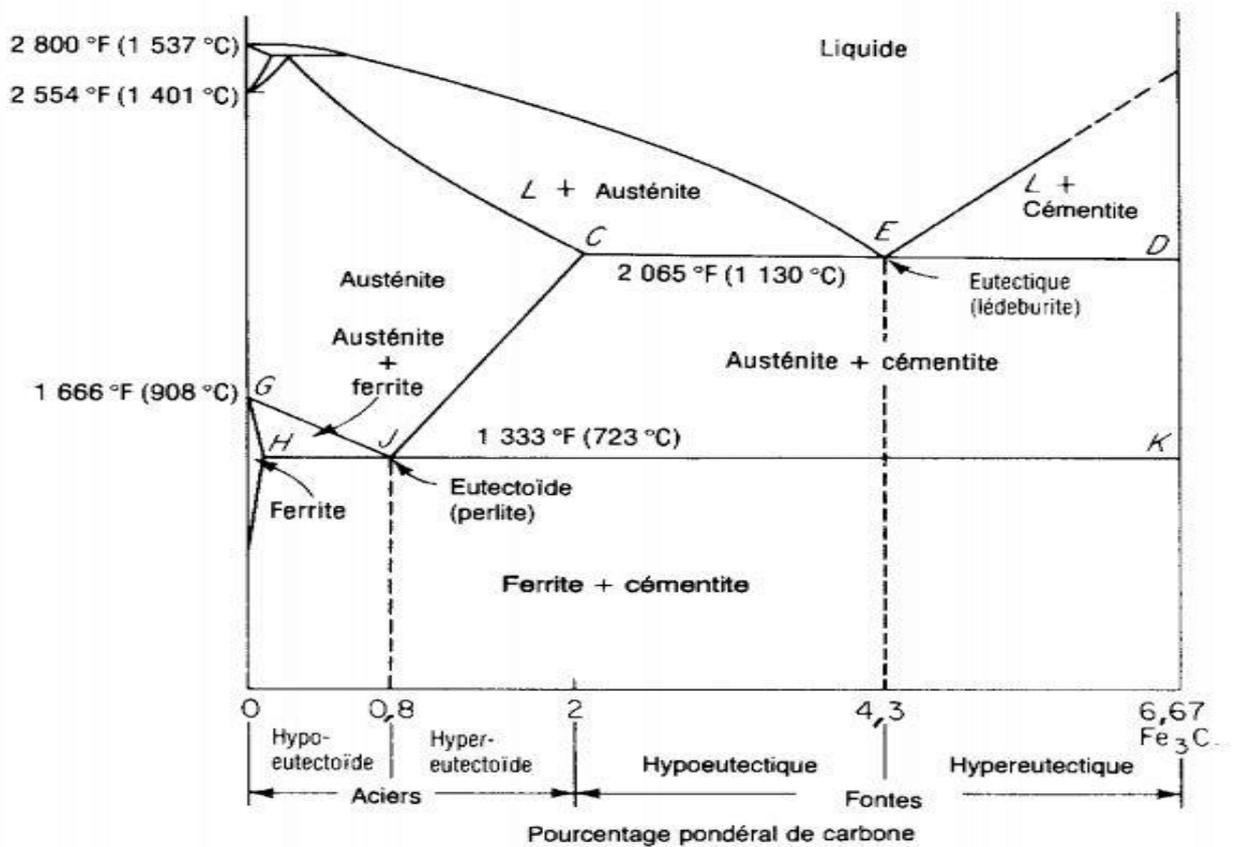


Figure I.4 : Le diagramme de phase fer-carbone [29].

I.2.4 Classification des aciers :

Du fait du nombre élevé d'éléments ajoutés au fer et de la gamme étendue de leur teneur, les aciers présentent un très grand nombre de nuances différentes. On peut classer les divers types d'alliages à base de fer selon leur composition chimique ou selon leur domaine d'utilisation.

L'adoption de cette dernière nous permet de recenser quatre familles d'aciers :

1. Les aciers au carbone d'usage général
2. Les aciers de traitements thermiques, alliés ou non
3. Les aciers à outils
4. Les aciers inoxydables [7,30].

I.2.4.1. Les aciers ordinaires ou aciers au carbone :

Les aciers ordinaires sont des aciers standards d'usage général qui sont parfois improprement appelés aciers au carbone. Ils sont utilisés tels quels, sans traitement ultérieur, constituent environ 80 % de la production des aciers (tableau 1.01). Outre le carbone, ces aciers contiennent des éléments d'addition et des impuretés dont la présence découle de leur mode d'élaboration :

- Manganèse (1.2 %), silicium (0.6 %), soufre (0.06 %), phosphore (0.06 %). [7,30].

Tableau I. 1 : Aciers ordinaires ou aciers au carbone non alliés [7,30].

Nuance	Pourcentage de carbone (C)	Résistance Rm (MPa) état recuit	Emplois
Extra-doux	$C < 0,15$	330-420	Tôles pour carrosserie, feuillards, quincaillerie, Pièces de forge
Doux	$0,15 < C < 0,20$	370-460	Charpente métallique, profilés, construction Mécanique courante, boulons, fils ordinaires
Demi-doux	$0,20 < C < 0,30$	480-550	Pièces de machines pour applications Mécaniques, pièces ou bâtis moulés, pièces Forgées
Demi-dur	$0,30 < C < 0,40$	550-650	Petit outillage, éléments de machines agricoles, Organes de transmission
Dur	$0,40 < C < 0,60$	650-750	Pièces d'outillage, d'armement, glissières, rails et bandages, ressorts, coutellerie, pièces moulées et Traitées
Extra-dur	$0,60 < C$	>750	Outils d'usinage et découpe, câbles, ressorts

Bien qu'on puisse les obtenir avec des propriétés mécaniques variées, les aciers ordinaires ne répondent pas à toutes les exigences d'utilisation. Les principales propriétés des aciers au carbone susceptibles d'être améliorées sont les suivantes :

- ◆ La résistance mécanique à l'état normalisé ou à l'état recuit,
- ◆ La trempabilité
- ◆ La soudabilité
- ◆ La tenue à chaud
- ◆ La résistance à l'usure et à la corrosion [7,30].

1.2.4.2. Les aciers de traitements thermiques :

On définit les aciers de traitements thermiques par rapport à leur composition chimique, car elle permet de déterminer les traitements qu'on peut leur appliquer en fonction des propriétés désirées. Les aciers de traitements thermiques sont soit des aciers au carbone sans

autres éléments d'aditions que des éléments standard Mn et Si, soit des aciers alliés contenant en proportions variables d'un ou plusieurs éléments d'addition (Cr, Ni, V, etc.) [7,30].

1.2.4.3 Les aciers à outils :

Aciers à outils sont des aciers travail à froid ou à chaud ; aciers rapides (au Cr+W+Mo+V) [25].

1.2.4.4 Les aciers inoxydables

C'est une famille très importante, caractérisée par une grande résistance à la corrosion, à l'oxydation à chaud, au fluage, et subdivisée suivant la teneur en nickel (2,5%) [25].

1.2.5. Influence spécifique des éléments d'addition sur les aciers :

- **Le manganèse** : Augmente la ductilité et confère une meilleure réponse aux traitements thermiques.
- **Le soufre** : Améliore la machinabilité.
- **Le silicium** : Agit comme désoxydant et augmente la résistance de l'acier. Il affecte aussi la vitesse de diffusion du zinc dans l'acier lors de la galvanisation à chaud.
- **Le molybdène** : Améliore la dureté et la trempabilité. Quand il est ajouté dans des proportions de 2 à 4 % (comme dans l'acier inoxydable), il améliorera la résistance de l'acier aux attaques des chlorides.
- **Le chrome** : S'il est utilisé en petites quantités, il améliore la réponse aux traitements thermiques et l'abrasion. Quand son pourcentage est grand (entre 12 et 25%), il améliore la résistance à l'oxydation et à la corrosion.
- **Le nickel** : Améliore la trempabilité et la résistance à la corrosion. De plus, il augmente la stabilité de l'acier à haute température.
- **Le plomb** : Augmente la machinabilité de l'acier.
- **Le phosphore** : Diminue la ductilité et la résilience et améliore la machinabilité et la résistance à la corrosion.
- **Le soufre** : Réduit fortement la ductilité transversale et les propriétés de résilience. Il affecte la qualité de la surface et la soudabilité. Lorsqu'il est combiné au manganèse pour obtenir des sulfures de manganèse, il améliore la machinabilité.
- **L'aluminium** : Désoxydant et affineur de grain, il affecte aussi la vitesse de diffusion du zinc dans l'acier.
- **Le vanadium** : Retarde la croissance de grain et forme des carbonitrides qui augmentent la résistance des aciers HSLA lors du laminage à chaud.

- **Le titane** : Stabilise la structure et améliore l'efficacité des éléments durcisseurs dans l'acier [6].

I.3. Soudage des aciers et le traitement thermique :

I.3.1. Définition du soudage :

Le soudage est l'opération qui consiste à réunir deux ou plusieurs parties consécutives d'un assemblage métallique, de manière à assurer la continuité entre parties consécutives d'un assemblage métallique, de manière à assembler la continuité entre les parties à assembler [9].

I.3.2. Principe de soudage :

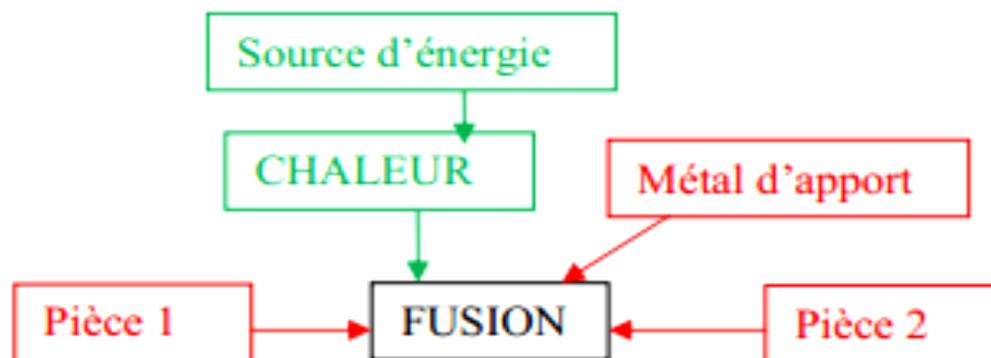


Figure I.5: Principe d'une soudure [10].

En soudage, on peut confronter deux situations :

- La première où les éléments à assembler ont la même composition chimique et le métal d'apport est tel que le cordon aura une composition très voisine de celle du métal de base, on dit alors que le soudage est «*homogène*», c'est le cas le plus fréquent.
- La deuxième où les éléments à assembler n'ont pas la même composition chimique ou, s'ils ont la même composition chimique, celle du métal d'apport est différente, on dit dans ce cas que le soudage est «*hétérogène*» [8].

I.3.3. Caractéristiques de la soudure :

Le soudage aujourd'hui est utilisé dans les domaines de la fabrication et des assemblages métalliques à partir de la microélectronique jusqu'à la fabrication de grands engins. On estime que 60 à 80% de la production mondiale de l'acier est destinée à la fabrication des produits soudés. On peut souder aujourd'hui les éléments d'épaisseur

de 0.01mm jusqu'à 1000mm et plus, on soude presque tous les métaux et alliages utilisés pour la remise en état des pièces et assemblages usés ou endommagés [31].

I.3.3.a. La zone fondue(ZF)

Nommée Z.F, zone dans laquelle l'état liquide a été atteint. La structure métallurgique qui sera obtenue après solidification, dépendra du cycle de refroidissement. On distingue, au sein de cette zone, des gradients de concentration, de la partie la plus chaude vers la moins chaude. Il devient donc possible d'examiner la composition d'une soudure ainsi que les variations de dureté [4].

I.3.3.b. La zone affectée thermiquement(ZAT)

La zone affectée thermiquement est la portion du métal de base immédiatement voisine de la zone de liaison ; c'est une région qui subit des transformations dues au soudage [12].

La zone thermiquement affectée comporte différentes parties, on distingue :

- 1- zone de surchauffe.
- 2- zone austénitique.
- 3- zone partiellement austénitisée [22].

I.3.3.c. La zone liaison(ZL)

Zone située entre la zone fondue (Z.F) et la zone affectée thermiquement (Z.A.T), correspond à la surface sur laquelle la solidification du métal fondu a commencé [11].

I.3.3.d. Le métal de base(MB)

Cette partie de la structure du métal soudée est suffisamment loin de la source de chaleur et ne subit pas ainsi de transformation métallurgique significative lors de l'opération de soudage. Il est à signaler que le métal de base, tout comme le joint de soudure global, peut être un site de concentration des contraintes résiduelles (transversales et longitudinales), dépendant du degré de rétreint imposé à la soudure [12].

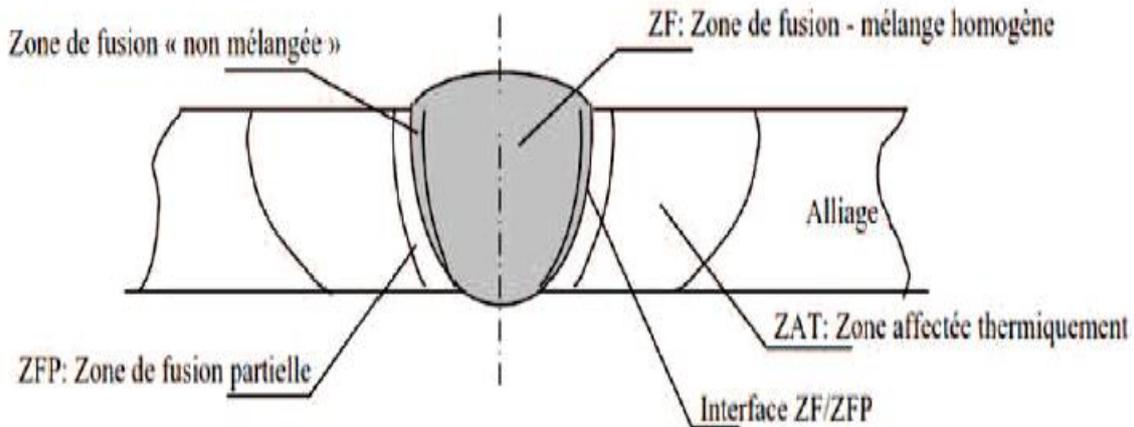


Figure I. 6: Les différentes zones caractéristiques d'une soudure par fusion [33].

I.3.4. Les procédés de soudage :

Il existe de nombreux procédés de soudage dont les principes et la mise en œuvre sont très différents. Bien qu'ils soient nombreux, la classification des différents procédés de soudage peut s'effectuer selon le mode d'apport de l'énergie nécessaire pour réaliser la jonction entre les parties assemblées. Pour les uns, l'assemblage est obtenu par fusion locale des éléments à assembler sans action mécanique volontaire utilisant une source de chaleur telle que la flamme, l'arc électrique, plasma etc., pour d'autres, la continuité métallique est obtenue sans fusion mais par une action mécanique (frottement, pression) [11].

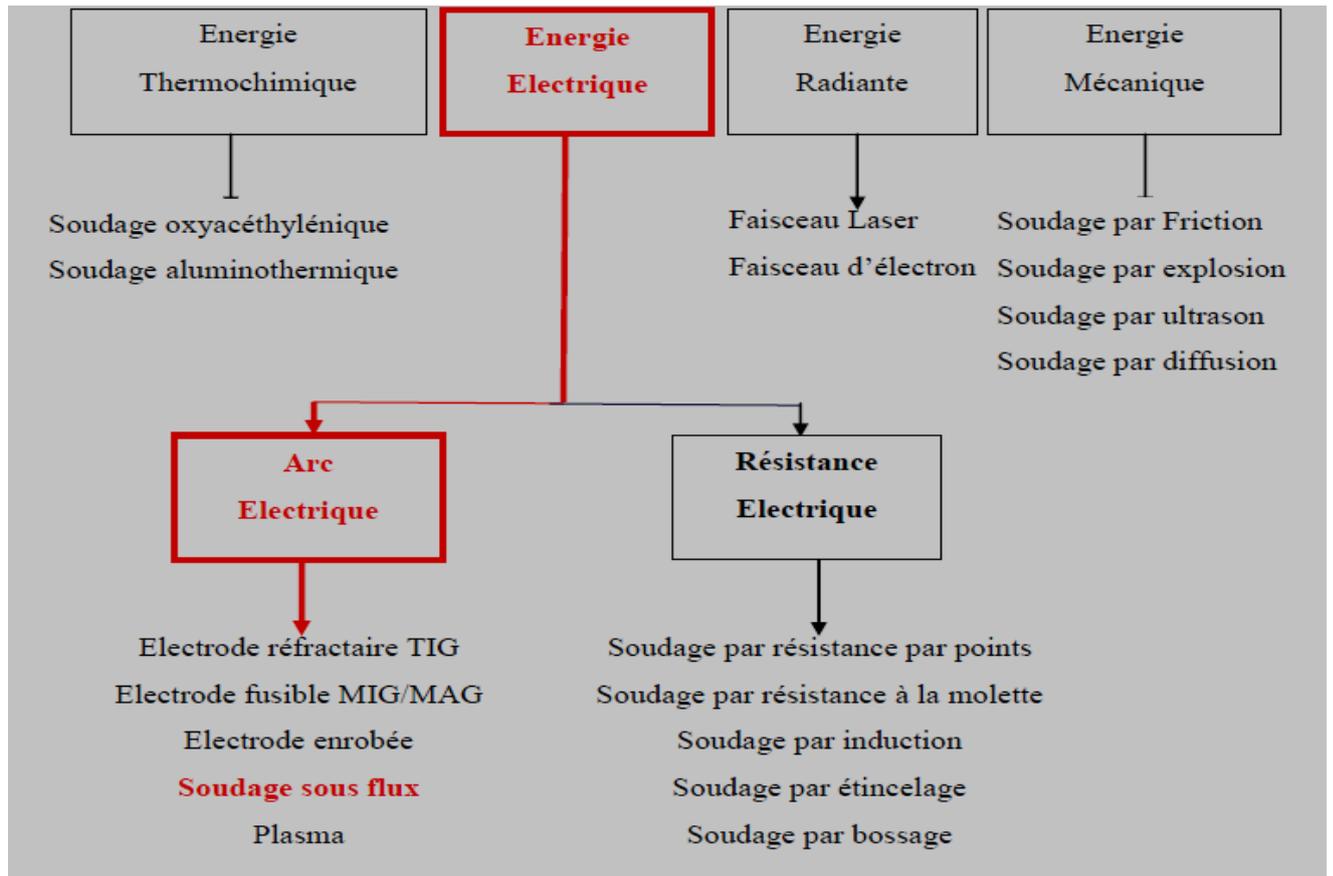


Figure I.7 : Procédé de soudage selon les différentes sources d'énergie [8]

I.3.4.1 Soudage automatique sous flux solide :

Un flux en poudre est versé en talus autour de l'électrode. L'arc jaillissant à l'intérieur du flux est ainsi protégé de l'oxydation et d'un refroidissement trop rapide (Figure II.4) [14].

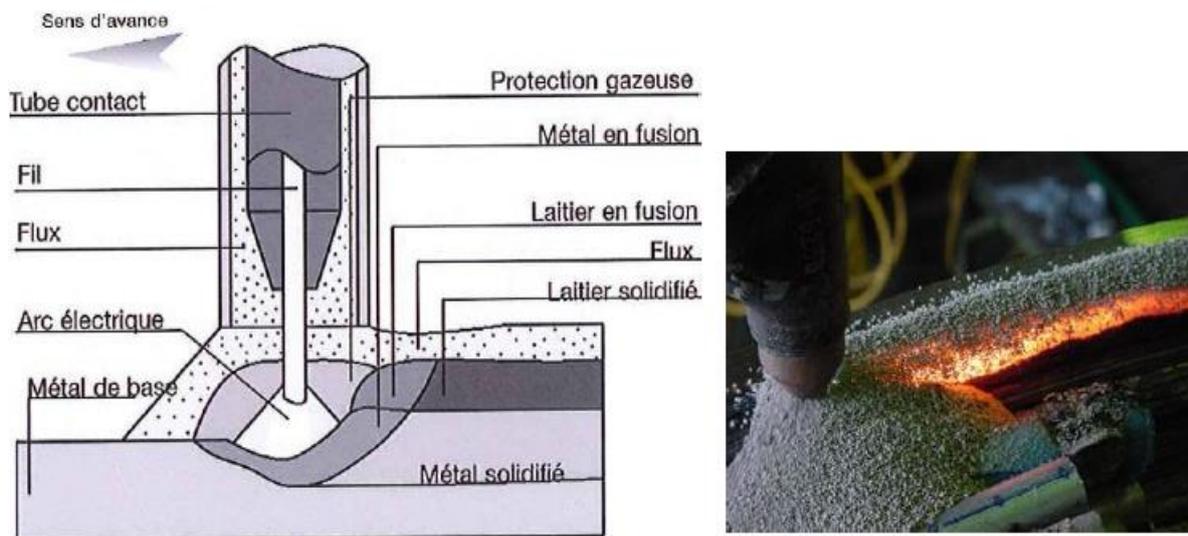


Figure I. 8 : Soudage à arc submergé sous flux solide [14].



Figure I. 9 : Procédé de soudage automatique électrique à l'arc d'une bouteille à gaz [8].

I.3.5. Les défauts de soudure :

Une définition possible de ce qu'on entend par défaut pourrait être «Accident géométrique autre que ceux inhérents aux cordons de soudure proprement dits ».

On rencontre donc, entrant dans cette définition, toutes les entailles inhabituelles présentées par le cordon de soudure et son voisinage immédiat. On citera, en se référant par exemple à la classification suivante :

- les fissures.
- les cavités.
- les inclusions solides.
- les manques de fusion et de pénétration.
- les défauts de forme.
- les autres défauts [32].

I.3.6. Soudabilité des aciers :

En général la soudabilité peut être estimée à l'aide des modifications de structure survenant au cours de l'opération de soudage. Les aciers austénitiques sont caractérisés par une grande ductilité et une grande ténacité ; les aciers martensitiques et troostiques, par une grande dureté et une grande fragilité ; les aciers perlitiques et sorbitiques par une combinaison variable des charges de rupture et de la ténacité.

Les aciers austénitiques par conséquent, sont considérés comme soudables aisément puisqu'ils ne sont pas sujets à une modification de leurs constituants au carbone et leur ténacité leur permet de résister aux tensions de soudage sans que des fissures se produisent.

Les aciers qui restent dans la zone chauffée, à l'état sorbitique ou perlitique, c'est-à-dire les aciers qui ne durcissent pas lors de leur soudure, peuvent être soudés convenablement.

Les aciers qui deviennent martensitique dans la zone affectée thermiquement sont difficiles à souder car leur dureté ne leur permet pas de subir de déformations sous l'effet des tensions de soudage sans se rompre ; ils nécessitent le plus souvent un traitement de dimensionnement (réchauffage) afin d'éviter leur fissuration prématurée par chocs thermiques ainsi qu'un recuit après soudure afin de transformer le constituant très dur de martensite en un constituant plus ductile [23].

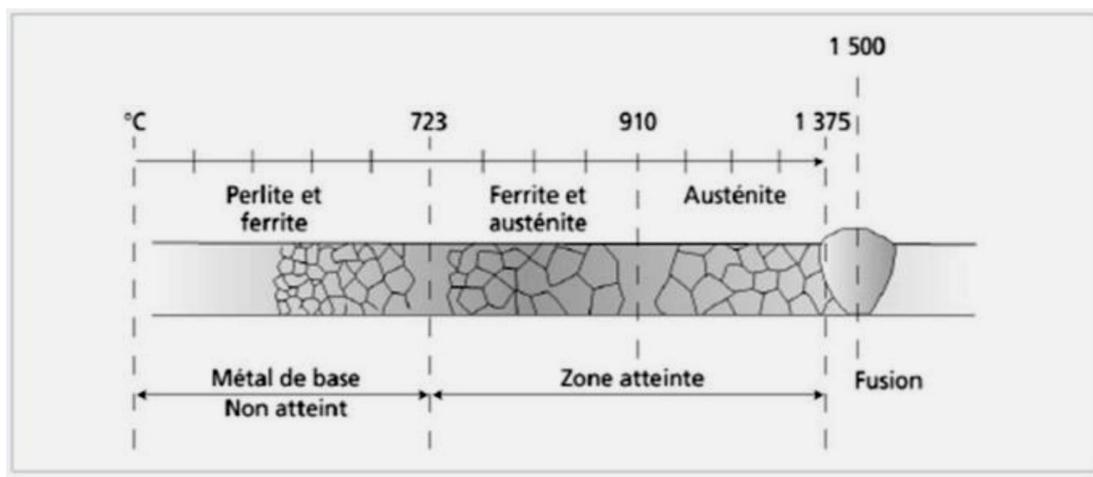


Figure I.10 : Influence de la température sur les grains [13].

I.4. Traitements thermiques des aciers :

Le procédé de traitement thermique d'un acier consiste à lui faire subir une variation de la température en fonction du temps. Il se compose d'un certain nombre d'opération de chauffage et de refroidissement. Le but étant d'améliorer les caractéristiques des matériaux [16].

Un traitement thermique sur une pièce, c'est faire subir à celle-ci une variation de la température en fonction du temps. Le procédé de traitement thermique se compose de (Figure.11)[19].

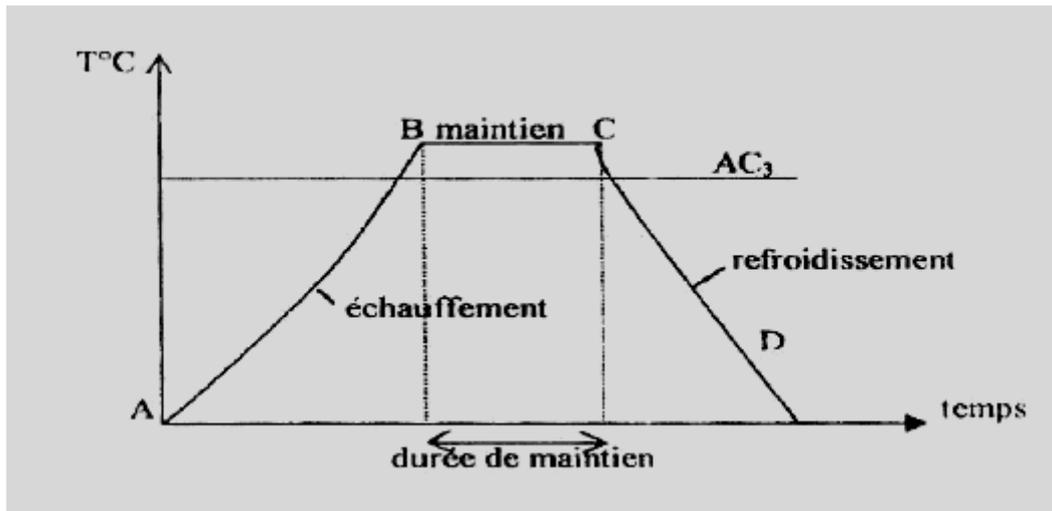


Figure I.11: procédés des traitements thermiques [19].

- ◆ AB : L'échauffement à des températures supérieures aux températures de transformation (par exemple : AC_3).
- ◆ BC : Maintient à une température définie.
- ◆ CD : Refroidissement avec une vitesse donnée :
 - lente (dans le four, à l'air).
 - Assez rapide (dans l'huile).
 - Très rapide (dans l'eau) [19].

I.4.1. Les type des traitements thermiques des aciers :

Les traitements thermiques des aciers consistent à mettre en application les nombreux changements structuraux qui peuvent découler des transformations de phase ainsi que des phénomènes de recristallisation et de diffusion. On peut les subdiviser en trois groupes :

- 1) Les recuits ;
- 2) Les trempes ;
- 3) Les traitements d'amélioration (revenus) [15].

I.4.1.1. La trempe :

C'est un traitement thermique de durcissement consistant à chauffer la pièce à une température supérieure à la ligne de transformation fer $\alpha \rightarrow$ fer γ (austénisation), puis on lui fait subir un refroidissement rapide pour obtenir une durée maximale [17].



Figure I.12 : Le cycle de la trempe [17].

I.4.1.1. Les types de trempe :

- **Trempe martensitique**

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

Ce traitement peut être thermique (refroidissement rapide) ou chimique (immersion dans un bain de sel fondu), il peut aussi être dans la masse du matériau ou uniquement à sa surface [17].

- **Trempe bainitique**

C'est une austénisation suivie d'un refroidissement rapide jusqu'à θ_b (température de trempe bainitique), maintenue pendant le temps nécessaire à la transformation complète de l'austénite. On refroidit ensuite jusqu'à température ambiante [17].

- **Trempe d'aciers austénitiques ou hypertrempe**

Sur certains aciers austénitiques, cette trempe crée une structure d'austénite homogène à température ambiante. Elle provoque l'adoucissement du matériau (comme certains aciers inox). Elle se produit si la température de trempe est trop élevée [17].

I.4.1.2. Le revenu des aciers :

Un acier trempé est dur, mais généralement beaucoup trop fragile pour être utilisé directement. Le revenu consiste à chauffer une pièce qui vient d'être trempée à une température inférieure au point de transformation, à la maintenir à cette température, puis à la refroidir généralement à l'air, parfois à l'eau. Le revenu a pour but d'éliminer les contraintes résiduelles provenant de la trempe et d'augmenter la ténacité. L'augmentation de la ténacité

s'obtient malheureusement toujours plus ou moins au se forment en raison des grandes différences de température entre le cœur et la surface de la pièce lors de la trempe. La dilatation thermique provoque des contraintes qui dépassent la limite d'écoulement plastique et parfois même la résistance à la rupture (fissures de trempe) [26].

Pratiquement, le revenu est un traitement thermique effectué essentiellement après trempe.

Il consiste en :

- Un chauffage à une température T_R en dessous de la température Ac_1 .
- Un maintien isotherme à la température T_R de durée t_R .
- Un refroidissement jusqu'à la température ambiante de préférence lentement.

Le choix de T_R et t_R permet de contrôler ce retour plus ou moins complet vers l'état d'équilibre.

La température de revenu conditionne la diffusion de carbone dissous dans la martensite [20].

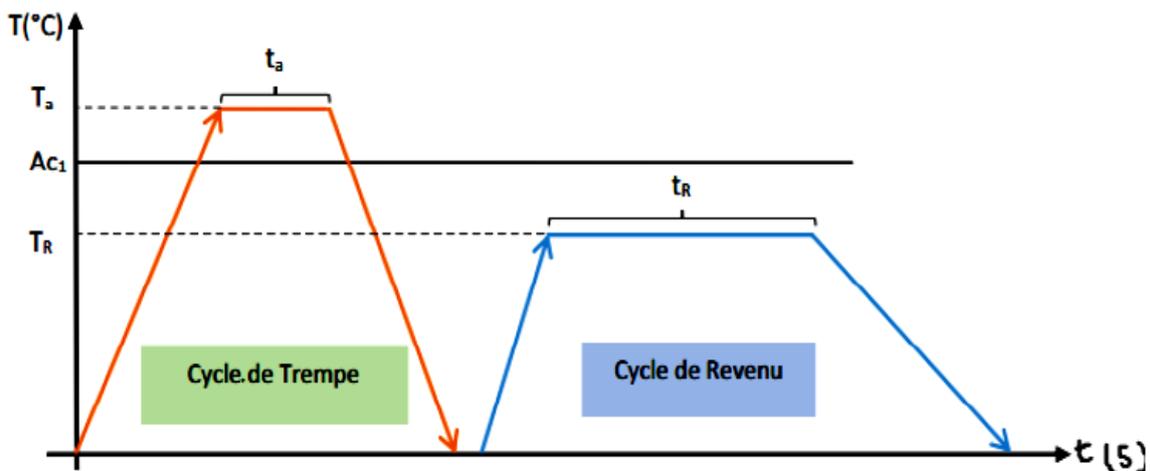


Figure I.13 : Cycle combiné de traitement thermique de Trempe + Revenu [20].

I.4.1.2.a. Les types de revenu :

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

- **Revenu à basses températures**

Température voisine à 250 C° , ce type de revenu est utilisé pour diminuer les contraintes internes, augmenter la résistance et améliorer la ductilité, cependant la dureté n'est pas

altérée. Il est appliqué aux outils de coupe, aux instruments de mesure en acier au carbone et faiblement alliés [21].

- **. Revenu à températures intermédiaires**

Effectué aux températures comprises entre 350 et 500 C° avec un refroidissement à l'eau, il permet d'augmenter la limite élastique et la résistance à la fatigue. Il est appliqué aux aciers à ressorts [21].

- **. Revenu à haute température**

Effectué aux températures comprises entre 500 et 680 C°, appliqué aux aciers de construction, il crée le meilleur compromis entre la résistance et la ductilité (plasticité) [21].

La trempe suivie de revenu à haute température (ce traitement double est appelé amélioration) [19].

I.4.1.3. Recuit des aciers :

Le recuit est un traitement thermique adapté à l'élimination ou à la réduction des effets néfastes de la ségrégation, l'écrouissage et les contraintes de soudage etc.

D'une manière générale, le recuit a comme conséquence le retour à un équilibre physico-chimique et/ou mécanique plus ou moins complet, lié éventuellement à une tendance vers l'équilibre structural.

- Équilibre physique : équilibre des phases.
- Équilibre chimique : composition chimique.
- Équilibre mécanique : contraintes internes.
- Équilibre structural : taille des grains, défaut de structure.

Le recuit conduit aux caractéristiques de ductilité les plus grandes (A%, K) et aux caractéristiques de dureté les plus faibles (H, E, R) [27].

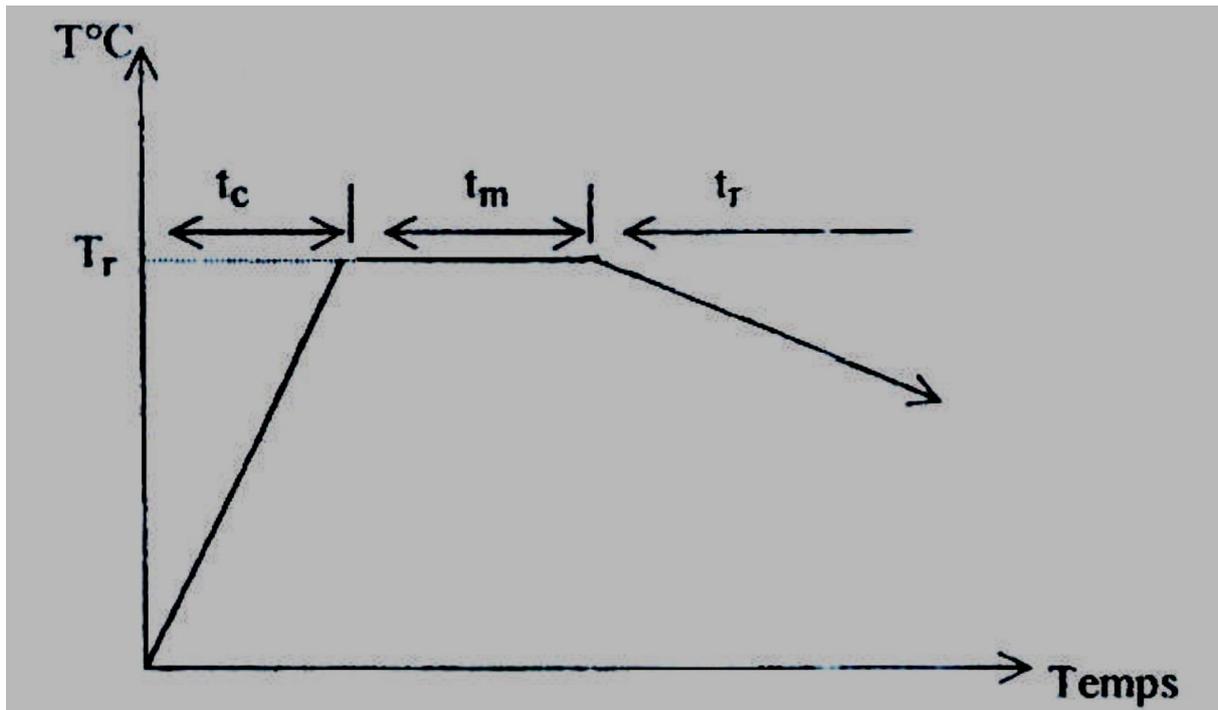


Figure I. 14 : Cycle de recuit [19].

- Tr : température de recuit.
- tc : temps de chauffage.
- tm : temps de maintien
- tr: temps de refroidissement [19].

I.4.1.3.a. Les différents types de recuit :

- **Recuit d'homogénéisation** : dit aussi de diffusion, il est appliqué aux aciers de coulée (moulage), pour lesquels le refroidissement a entraîné l'hétérogénéité chimique.
- **Recuit de recristallisation** : il consiste à reformer les cristaux ou les grains du métal déformé. il est appliqué aux pièces déformées à froid et il élimine l'écrouissage.
- **Recuit de détente** : dit aussi recuit de stabilisation, il est appliqué aux pièces forgées, il fait disparaître les tensions internes.
- **Recuit d'adoucissement** : dit aussi recuit complet, il s'applique pièces traitées thermiquement, il détruit les effets des traitements thermiques antérieurs, il provoque une structure favorable pour l'usinage ou la déformation à froid.
- **Recuit de régénération** : dit aussi recuit d'affinage, il affine les grains du métal et s'applique aux pièces forgées [28].

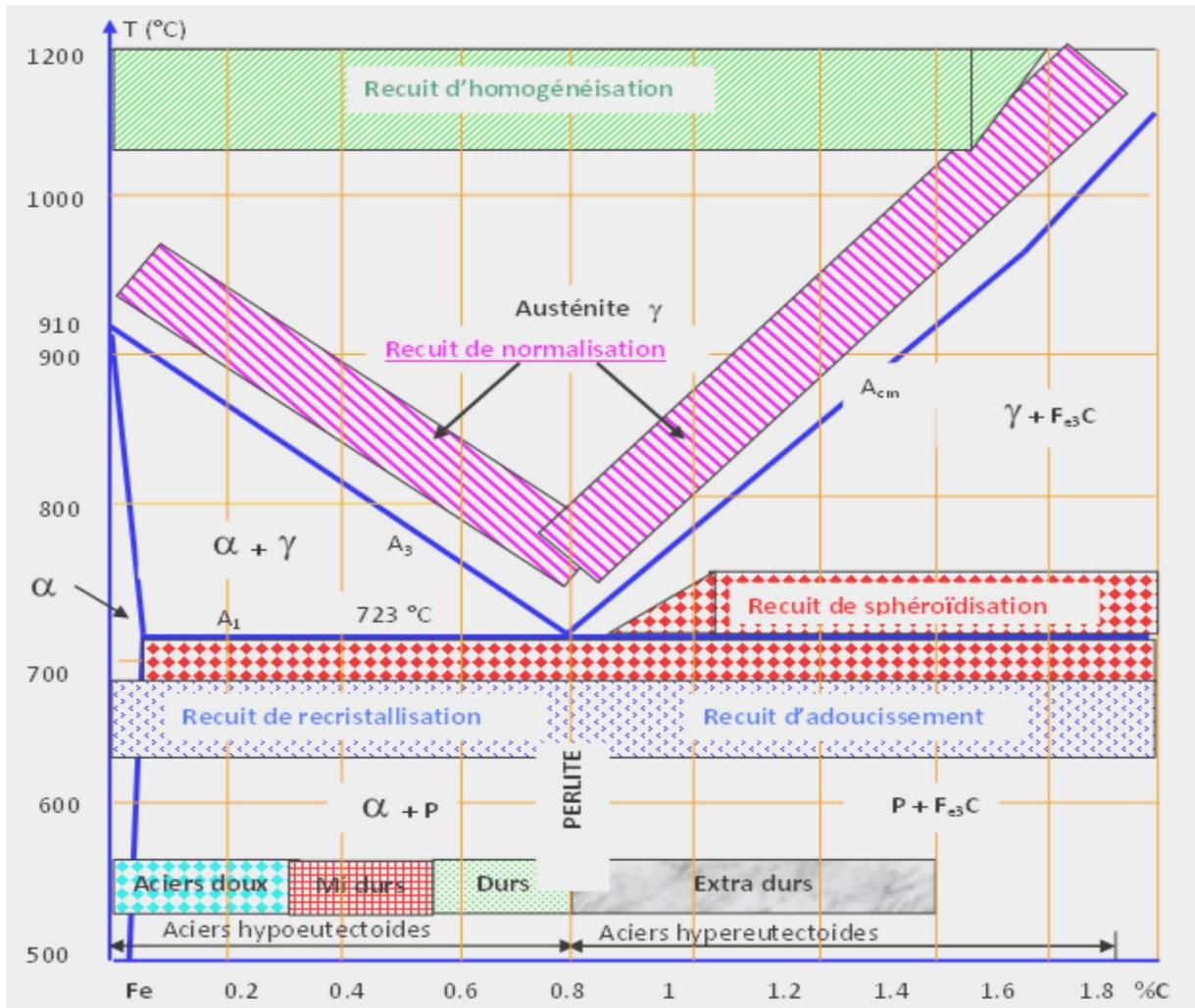


Figure I. 15:Zones des différents types de recuit [25].

Chapitre II :
Matériaux et
méthodes
expérimentales

II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les matériaux étudiés et les techniques expérimentales.

II.2. Matériau étudié :

Nous avons utilisé un acier de nuance **BS2 (P265NB)** conforme à la norme **EN 10120**, l'épaisseur de matériau **2.58 ± 0.13 mm**. L'acier utilisée dans l'industrie de bouteilles à gaz **B13**, à l'entreprise (SNS) **Batna**.

Le tableau suivant représente la composition chimique de notre acier

Tableau II.1:La composition chimique de l'acier utilisé (% massique).

<i>Nuance d'acier</i>		<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Al</i>	<i>N</i>	<i>Nb</i>	<i>Ti</i>
<i>Désignation Symbolique</i>	<i>Désignation Numérique</i>	<i>Max</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Max</i>	<i>Max</i>
<i>P265NB</i>	<i>1.0423</i>	<i>0.19</i>	<i>0.25</i>	<i>0.40</i>	<i>0.025</i>	<i>0.015</i>	<i>0.020</i>	<i>0.009</i>	<i>0.050</i>	<i>0.03</i>

II.2.1. Caractérisation mécanique de l'acier BS2 (P265NB) :

Les caractéristiques mécaniques sont indiquées dans le tableau suivant (tableau II.2) :

<i>Acier</i>		<i>Limite supérieure d'écoulement ReH min MPa</i>	<i>Résistance à la Traction Rm min Mpa</i>	<i>Allongement après rupture pour une épaisseur T de produit (en mm) T<3 (L0 =80mm) %</i>	<i>Température normalisation (à titre Indicatif) C</i>
<i>Désignation Symbolique</i>	<i>Désignation Numérique</i>				
<i>P265NB</i>	<i>1.0423</i>	<i>265</i>	<i>410 –500</i>	<i>24</i>	<i>890 - 930</i>

II.2.2. Métal d'apport:

Le métal d'apport fil d'acier cuivré EN756-S1 la dimension du matériau d'apport est 1.6mm, et fourni avec un certificat d'analyse chimique. Les compositions chimiques doivent rester dans les fourchettes suivantes :

Elements	Teneur en pourcentage	
	Minimum	Maximum
C	0,06	0,12
Mn	0,40	0,60
P	$\leq 0,030 \leq 0,030$	0,025
S	$S \leq 0,030 \leq 0,030$	0,025
Si	$Si \leq 0,010$ 0,40 à 1,20	0.01

II.3.Vitesse de soudage :

Pour réaliser cette étude nous avons choisi deux vitesses d'avance de soudage

V1	V2
8mm/s	11mm/s

II.4.Préparation des échantillons :

Dans cette étude nous préparons des échantillons pour les traitements thermiques et les analyses de caractérisations ; la figure suivante expliquée La zone de prélèvement des échantillons

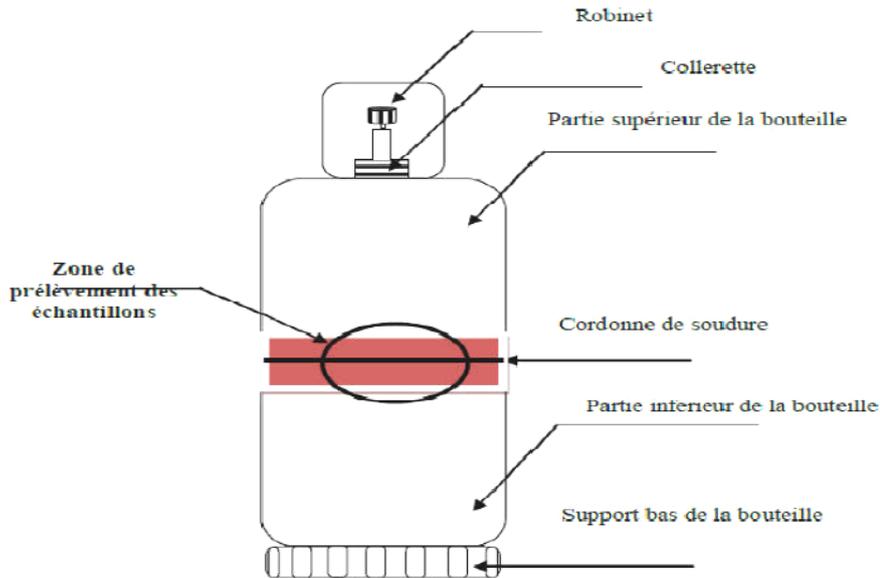


Figure II.1 : Schéma de la bouteille spécifiant la zone de prélèvement des échantillons| [8]

II.5 Les traitements thermiques :

Après le soudage, tous les cylindres subiront un traitement thermique de recuit normal à 910 ± 10 ° C, pendant 5 minutes, nous avons donc fait le même traitement avec nos échantillons étudiés à l'entreprise de fabrication de bouteilles à gaz **B13(SNS) Batna.**)



Figure II.2 : Four électrique type CARBOLITE

Après cela, les échantillons sont soumis à un traitement thermique supplémentaire pendant différentes durées (30 minutes, 60 minutes, 90 minutes, et 120 minutes) à une température de 600 ° C pour ce traitement nous utilisons un four électrique de traitement thermique type Nabertherm



Figure II.3: Four électrique de traitement thermique type Nabertherm

II.6. Polissage mécanique:

Avant les observations aux microscopes optiques, les échantillons sont polis sur une polisseuse mécanique avec papiers abrasifs de différentes granulométries de 240 à 1200 en suite sur tissus feutré avec addition du lubrifiant et de la patte diamantée.

Après chaque polissage, les échantillons sont nettoyés à l'eau distillée, séchés, puis attaqués chimiquement par le nital 4% (une solution alcoolique nitrique) de composition 96% d'éthanol (C_2H_5OH) et 4% d'acide nitrique (HNO_3).

II.7. Microscopie optique (MO) :

L'utilisation du microscope optique nous a permis de suivre l'évolution de la microstructure des échantillons. Les observations métallographiques sont effectuées sur un microscope optique de marque OLYMPUS CX40 (Figure. II.4). Cette technique nous permet d'observer les phases et de commenter leurs morphologies respectives.



Figure II.4: Microscope Optique type OLYMPUS CX40

II.8. Essai de traction :

II.8.1 Découpage

Toutes les éprouvettes de traction ont été préparées selon la norme européenne (NF EN1442+A1)

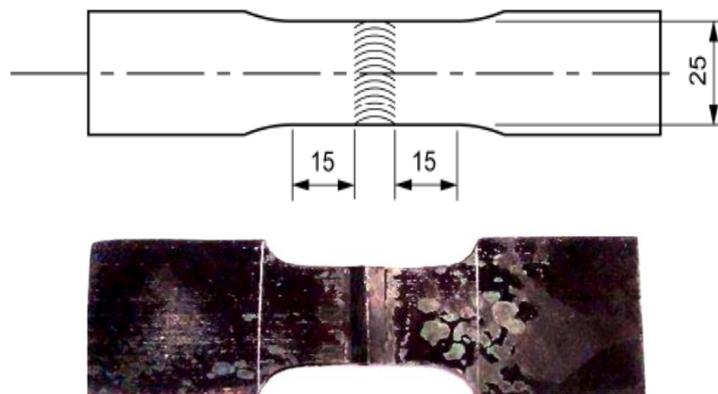


Figure II.5: Éprouvette pour l'essai de traction

L'essai de traction est utilisé comme méthode standard correspondant à une norme définie pour la détermination de la limite d'élasticité, la résistance à la traction, l'allongement à la rupture et d'autres grandeurs caractéristiques du matériau



Figure II.6 : machine de traction ZWICK ROELLZ050

II.9. Essai de la micro dureté:

La microdureté de Vickers est le rapport entre la charge appliquée et la surface projetée de l'empreinte rémanente (Figure II.7)

$$HV = F/S$$

Où F est la charge appliquée en kgf, et S la surface de l'empreinte en mm². La valeur S s'obtient à partir de la mesure de diagonale d en mm.

$$\text{Soit: } S = d^2 / 2\cos 22^\circ$$

$$HV = 1.8544F / d^2$$

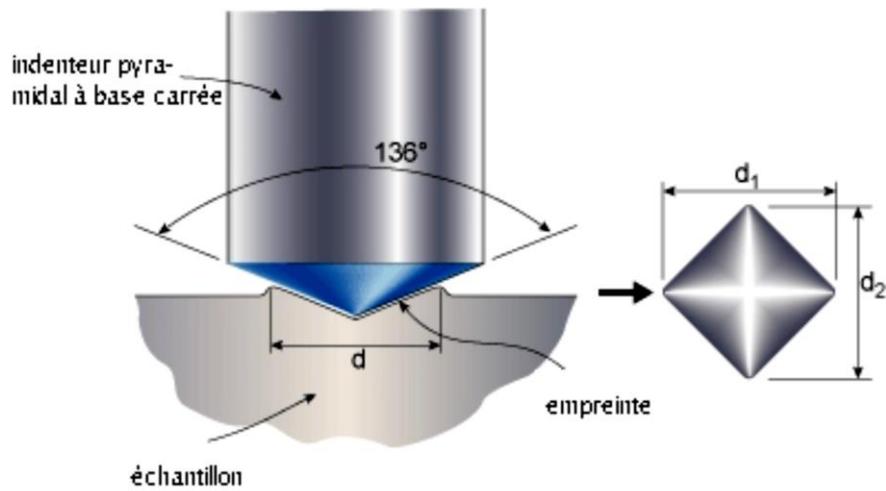


Figure II.7: la méthode Vickers de mesure de dureté

Nous avons opté pour des mesures de micro dureté avec une charge appliqué de quatre mesures sont effectuées sur chaque échantillon et une moyenne est prise avec élimination des valeurs non conformes.

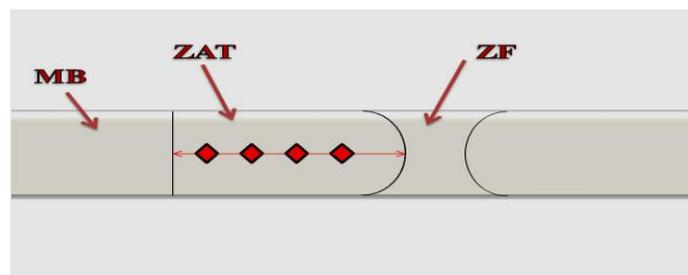


Figure II.8: Schéma de position de la microdureté appliqué



Figure II.9: Microduromètre de type INNOVAYEST

II.10. La diffraction de Rayons X (DRX) :

Diffraction des rayons x est une technique communément utilisée pour l'identification de phases cristallines dans un matériau

La diffraction des rayons X peut être interprétée comme une réflexion sur une famille de plans $\{hkl\}$. Pour une famille donnée de plans cristallographiques $\{hkl\}$, de distance interoculaire d , la relation de Bragg donne la relation entre l'angle d'incidence θ (angle de Bragg) du faisceau par rapport aux plans considérés $\{hkl\}$, sa longueur d'onde λ et d .

$$2d \sin \theta = n \lambda$$



Figure II.10: Diffractomètre automatisé type ADVANCE 08

Chapitre III :

Résultats et

Interprétation

III.1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats des effet de traitement thermique sur la microstructure et le comportement mécanique des joints soudés de l'acier BS2.Pour réaliser cette étude Nous avons choisi deux vitesses de soudage différentes ($V1 = 8\text{mm/s}$ et $V2 = 11\text{mm/s}$).

III.2.Les résultats des éprouvettes soudées avec une vitesse de soudage $V = 8 \text{ mm/s}$:

III.2.1.Caractérisation mécanique :

Dans cette partie nous avons représentés notre résultat expérimental des échantillons de l'acier BS2 soudé avec une vitesse de soudage $V= 8 \text{ mm/s}$ et traité à 600°C pendant des temps différentes (30,60, 90 et 120 minutes)

III.2.1.1.Essai de traction:

Tableau III.1:Résultants des essais de traction

Tempe de maintien	Largeur (mm)	Épaisseur (mm)	Section (mm ²)	Re(limite élastique) MPa	Charge (N)	Rm MPa
tm=30	25	2.69	67.25	359	32952.5	490
tm=60	25	2.71	67.75	360	33536.25	495
tm=90	25	2.59	64.75	362	32310.25	499
tm=120	25	2.64	66	361	32868	498
l éprouvette de référence	25	2.58	64.5	400	33669	522

Le tableau III.1représente les résultats des essais de traction sur des éprouvettes soudés avec une vitesse de soudage $V = 8\text{mm/s}$, traitée à 600°C pendant des temps différents D'après le tableau nous avons remarqué une diminution de la limite élasticité maximale et la résistance à la rupture par apport l'éprouvette de référence. Mais dans les cas des éprouvettes recuis nous observons que la limite élasticité maximale et la résistance à la rupture augmentent avec l'augmentation de temps de maintien.

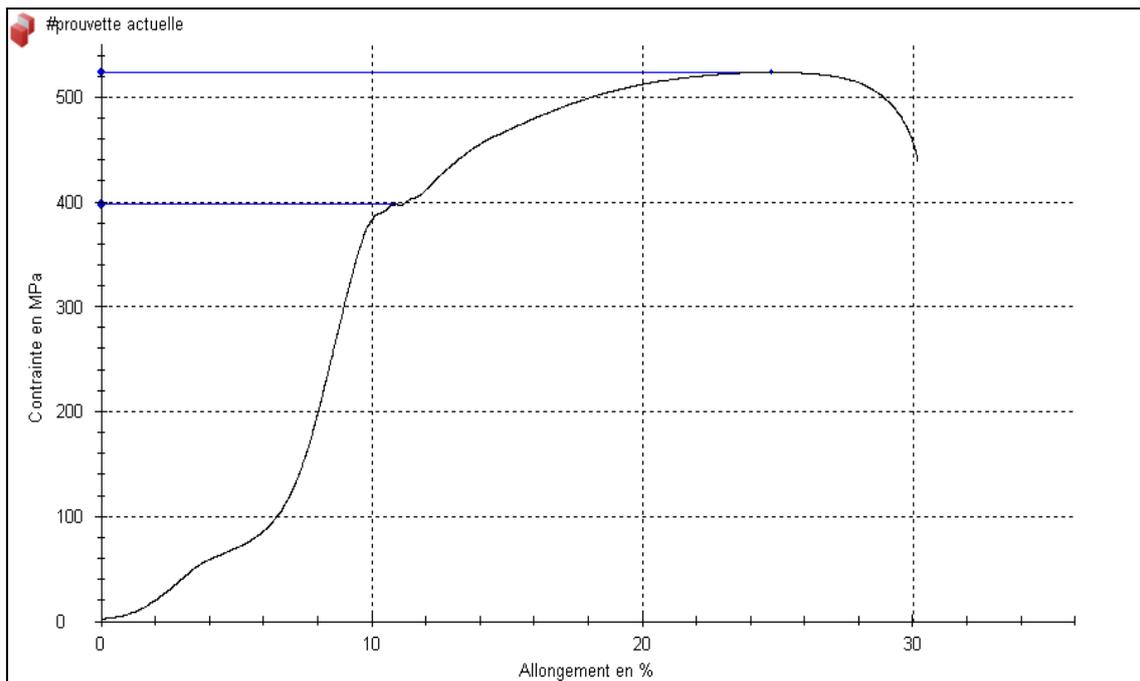


Figure III.1: Courbe de traction de tôle soudée (vitesse 8mm/s) éprouvette de référence

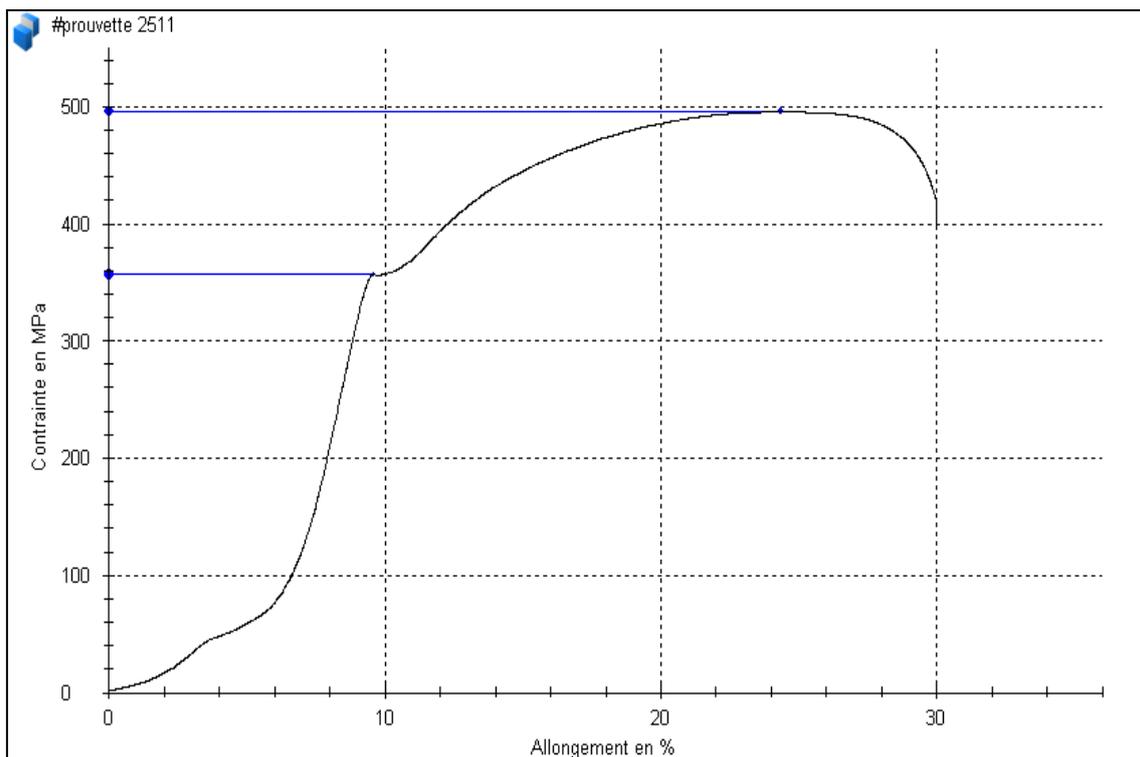


Figure III.2: Courbe de traction de tôle soudée a vitesse 8mm/s et recuit à 600°C /30min

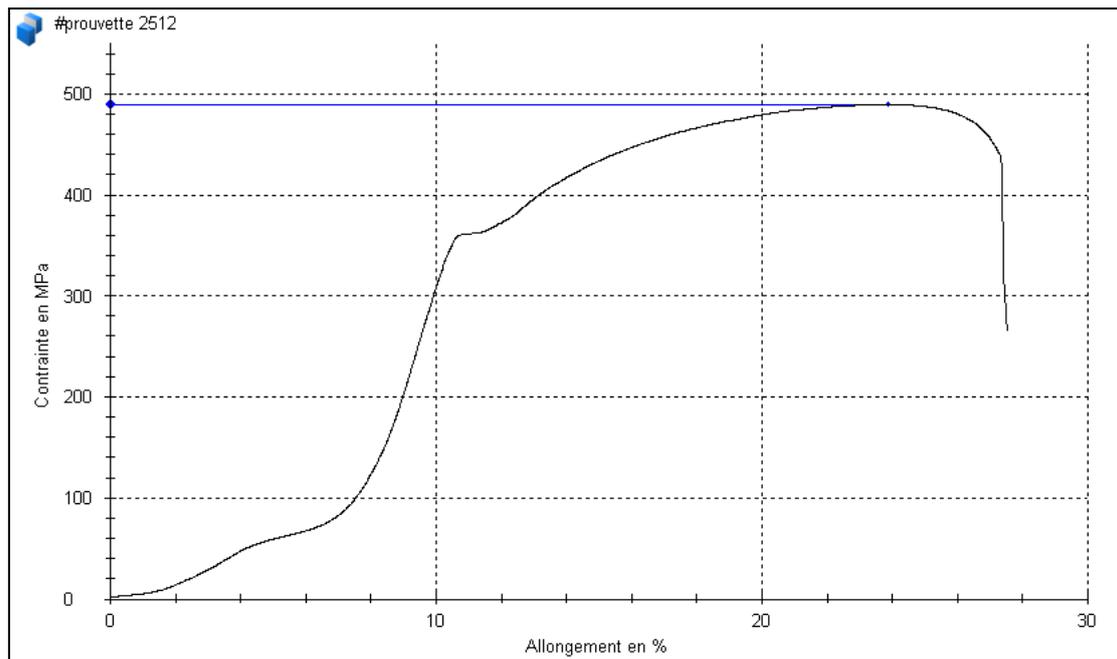


Figure III.3: Courbe de traction de tôle soudée a vitesse 8mm/s et recuit à 600°C /60min

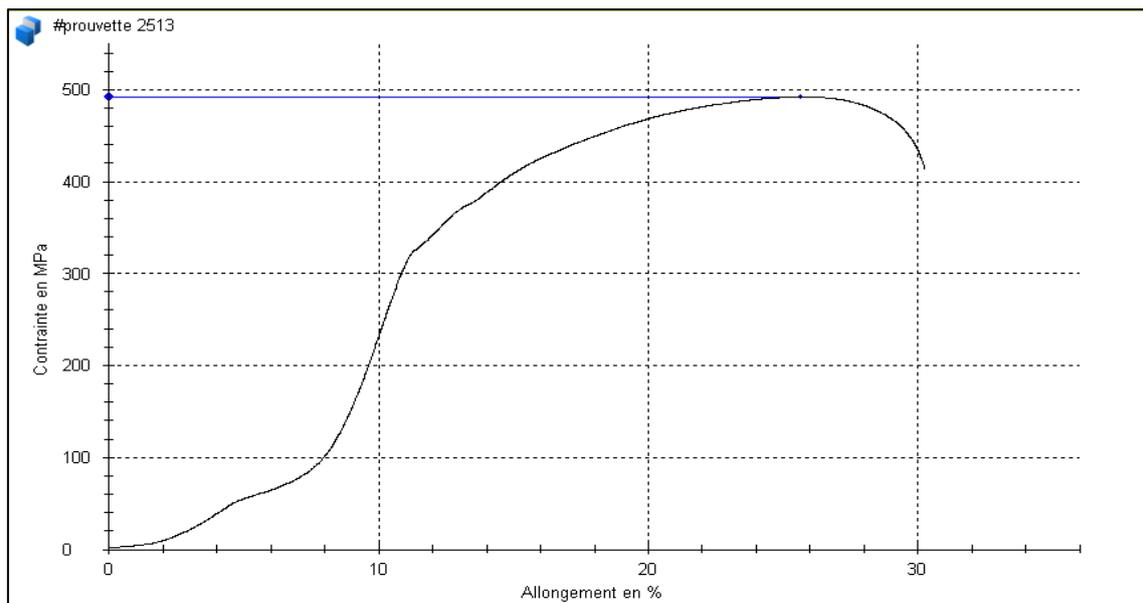


Figure III.4: Courbe de traction de tôle soudée a vitesse 8mm/s et recuit à 600°C /90min

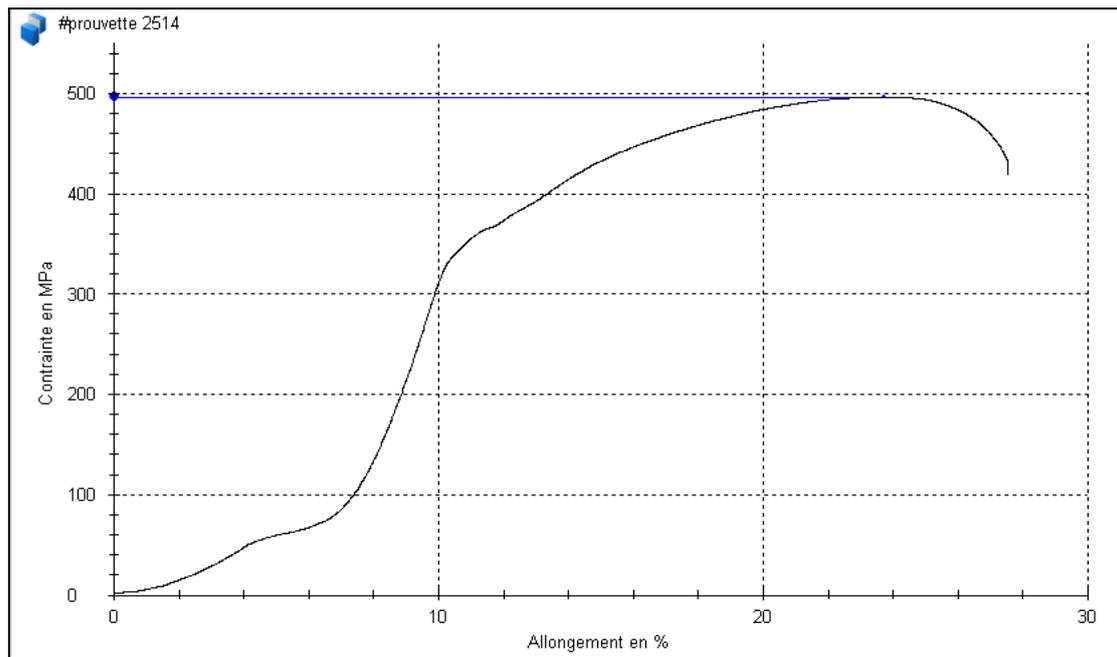


Figure III.5: Courbe de traction de tôle soudée a vitesse 8mm/s et recuit à 600°C /120min

III.2.1.2.La microdureté:

La figure III.6 illustre la variation de la micro dureté de l'acier BS2 soudés a vitesse 8 mm/s, recuits à 600 °C pendant des temps de maintien différents (30, 60, 90 et 120 min.). Nous avons observé la variation de la microdureté dans les quatre échantillons, Premièrement on peut noter que la microdureté est augmenté par rapport l'échantillon de référence où la mesure de la micro dureté de l'échantillon avant le recuit est égale 130 HV

Nous pouvons remarquer que le meilleur durcissement présenté en 30min, puis nous remarquons que la microdureté diminue avec l'augmentation au temps (60min, 90 min) Cette variation est due à l'effet de recuit sur le changement structurel et le changement de la taille des grains.

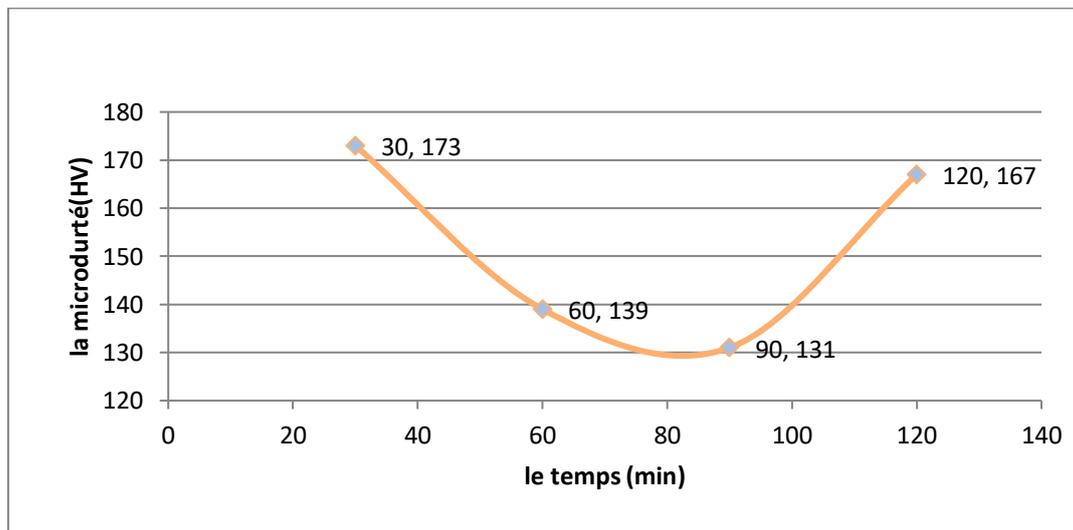


Figure III.6:La variation de la microdureté Vickers de l'acier BS2 (V = 8mm/S) en fonction de temps de maintien.

III.2.3.Examen métallographie de l'acier BS2 soudée par vitesse de soudage =8mm/s :

Les Figures (III.8.9.10) représentent les microstructures des échantillons de l'acier BS2 recuit à 600°C pendant 60 min, 90 min et 120 min, les figures montrent l'évolution microstructurales des échantillons recuit par rapport à l'échantillon de référence(figure III.7).

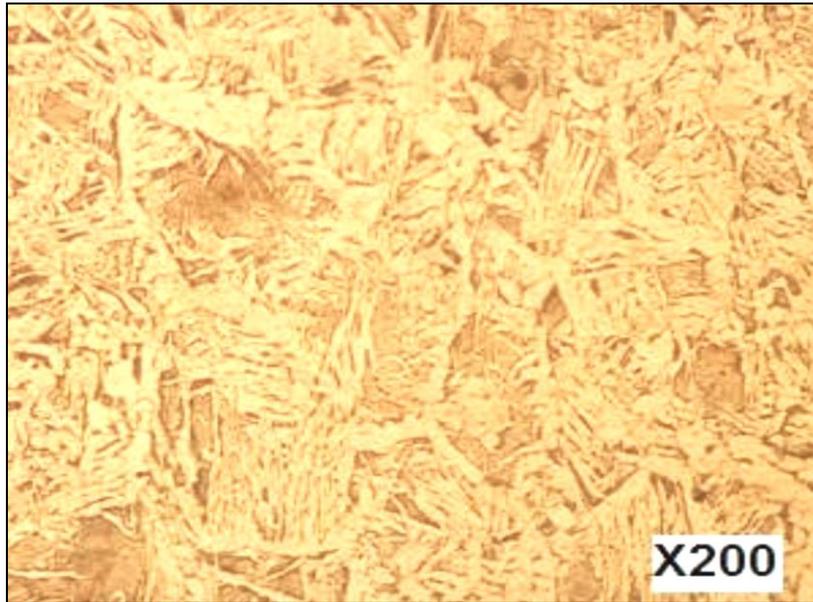


Figure III.7: microstructures de joint soudé soudée à vitesse 8mm/s

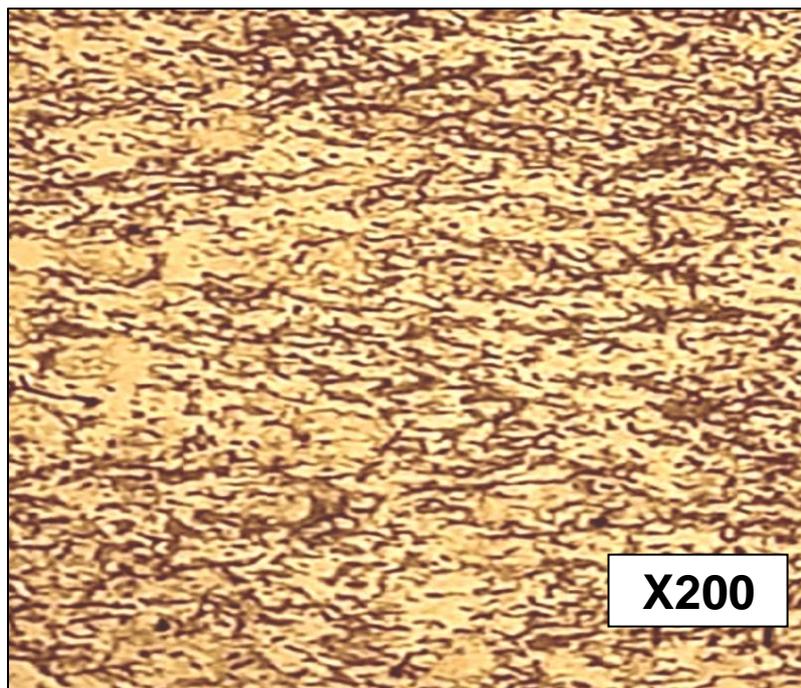


Figure III.8: Microstructures de joint soudé traité à 600° C /60 min

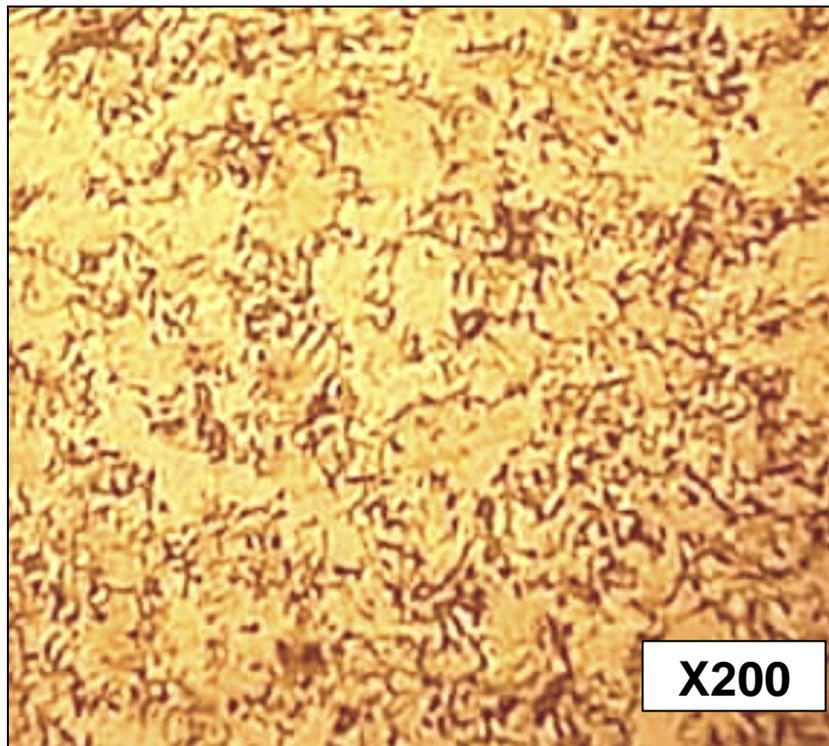


Figure III.9: Microstructures de joint soudé recuit à 600° /90min

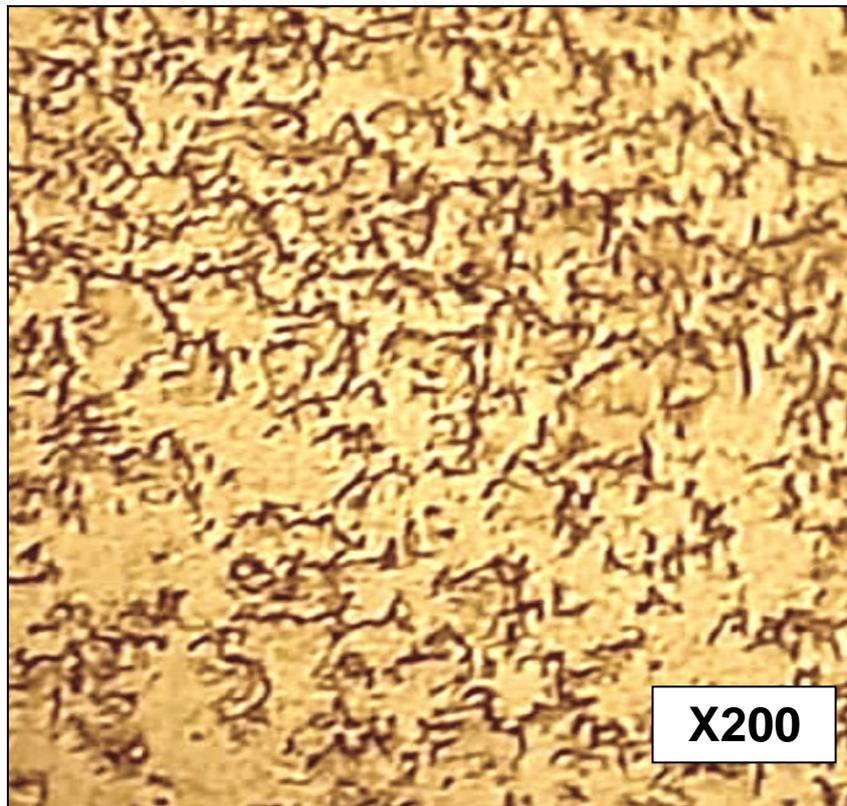


Figure III.10: Microstructures de joint soudé recuit à 600°C /120min

III.2.3. La diffractions des rayons X:

Le spectre e de diffraction des rayons X de l'acier BS2 étudié est représenté sur la figure (III. 11), selon le ICDD, les pics présentés correspondant à la structure ferritoperlitique, nous à donner des résultats montrent que le pic le plus intense est celui (110) de ferrite et un autre pic de ferrite (211) et (200).

Dans la figures (III.12) nous représentons les spectres de diffraction des rayons X de l'acier BS2 après soudage à vitesse 8 mm/s et traitement à 910°C , Où nous avons remarqué les même pics de l'acier BS2 avec une différence d'intensité des pics qui montre l'orientation des mailles vers la diffraction.

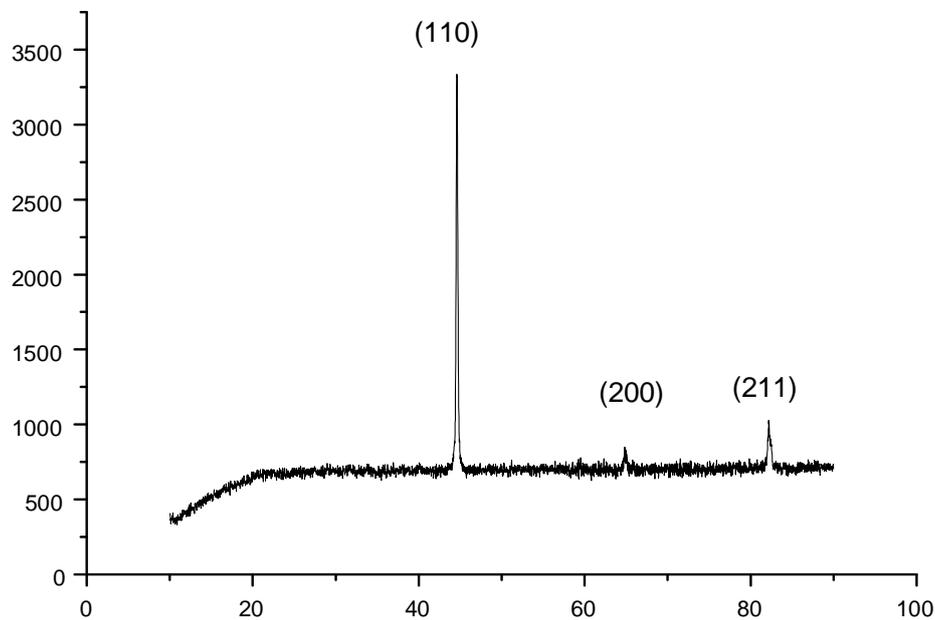


Figure III.11: Spectre de diffraction des rayons X de l'acier BS2

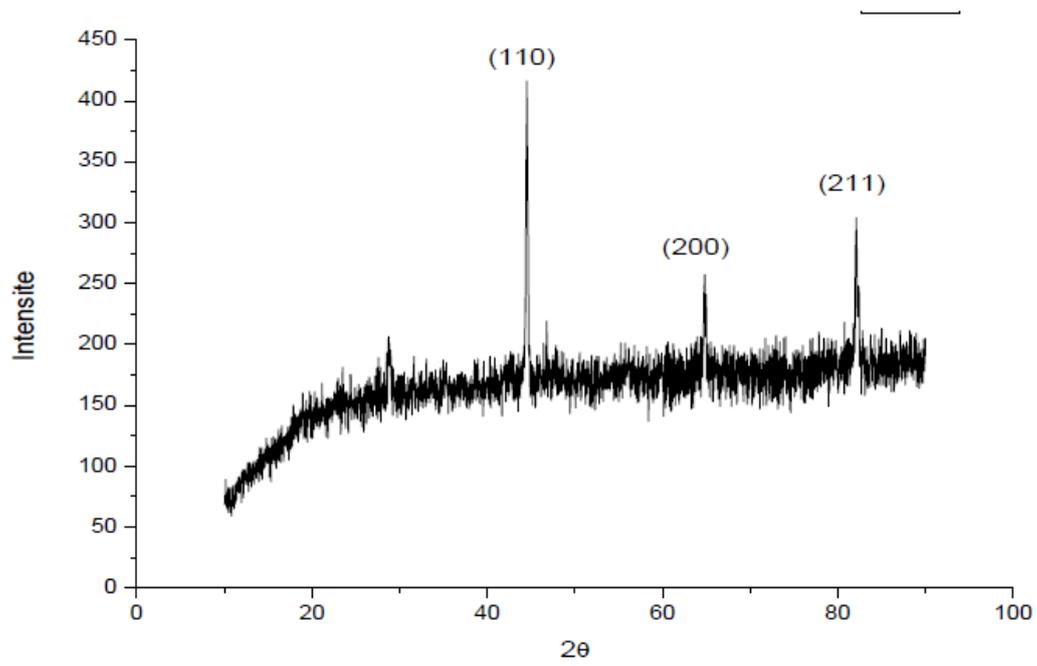


Figure III.12: Spectre de diffraction des rayons X de tôle soudée a vitesse 8mm/set traiter thermiquement

III.3. Résultats d'essai des éprouvettes soudées avec une vitesse de soudage $V = 11\text{mm/s}$:

III.3.1. Caractérisation mécaniques :

Dans cette partie nous avons représentés notre résultat expérimental des échantillons de l'acier BS2 soudé avec une vitesse de soudage $V = 8\text{ mm/s}$ et traité à 600°C pendant des temps différentes (30,60, 90 et 120 minutes).

III.3.1.1. Essai de traction :

Tableau III.2 : Résultats des essais de traction

Tempe de maintien	Largeur (mm)	Épaisseur (mm)	Section (mm ²)	Re (limite élastique) MPa	Charge (N)	Rm MPa
tm=30	25	2.70	67.5	327	30510	452
tm=60	25	2.8	70	324	30730	439
tm=90	25	2.72	68	341	30804	453
tm=120	25	2.82	70.5	326	30808.5	437
I éprouvette de référence	25	2.78	69.5	344	34402.5	495

Les figures III. (14 ,15 ,16et 17) illustrent les résultats des essais effectués sur les éprouvettes traité à 600°C pendant des temps différents , ont montrés que la résistance à la traction est diminué par rapport l'éprouvette de référence (tableau III.2) ce qui conduit a une fragilisation de l'éprouvette, causé par les défauts structuraux et les contraintes internes du matériaux fondé.

Mais dans les cas de recuit, nous observons la meilleure résistance à la traction est obtenus à 90 min.

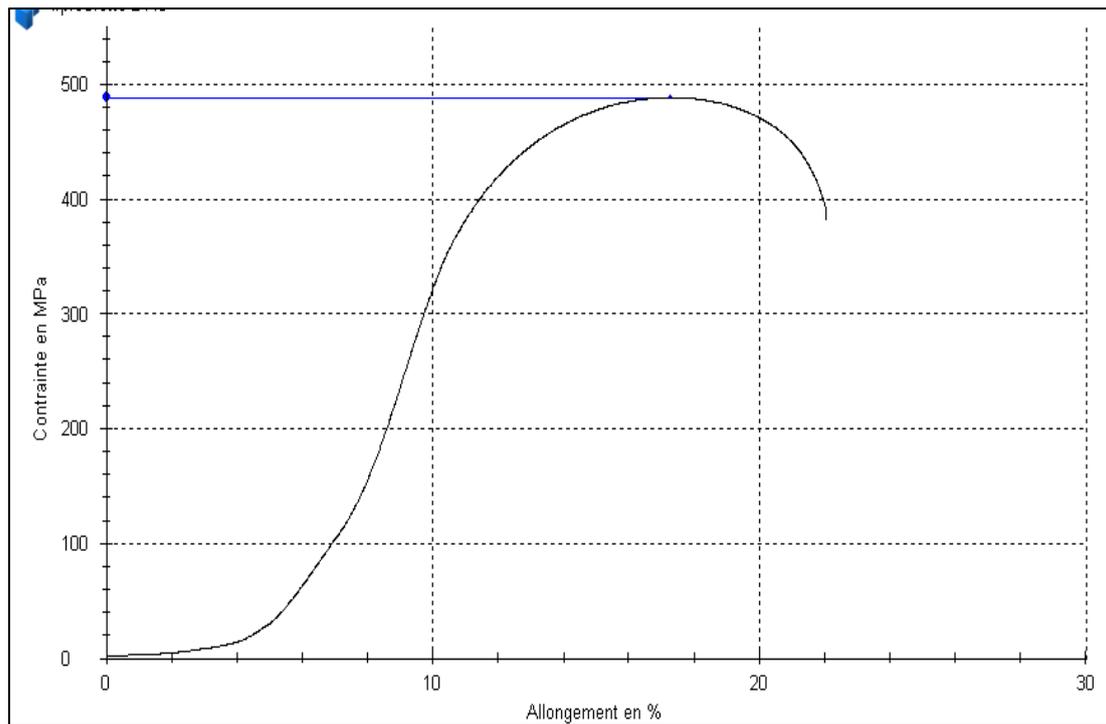


Figure III.13: Courbe de traction de tôle soudée par vitesse 11 mm/s (éprouvette de référence)

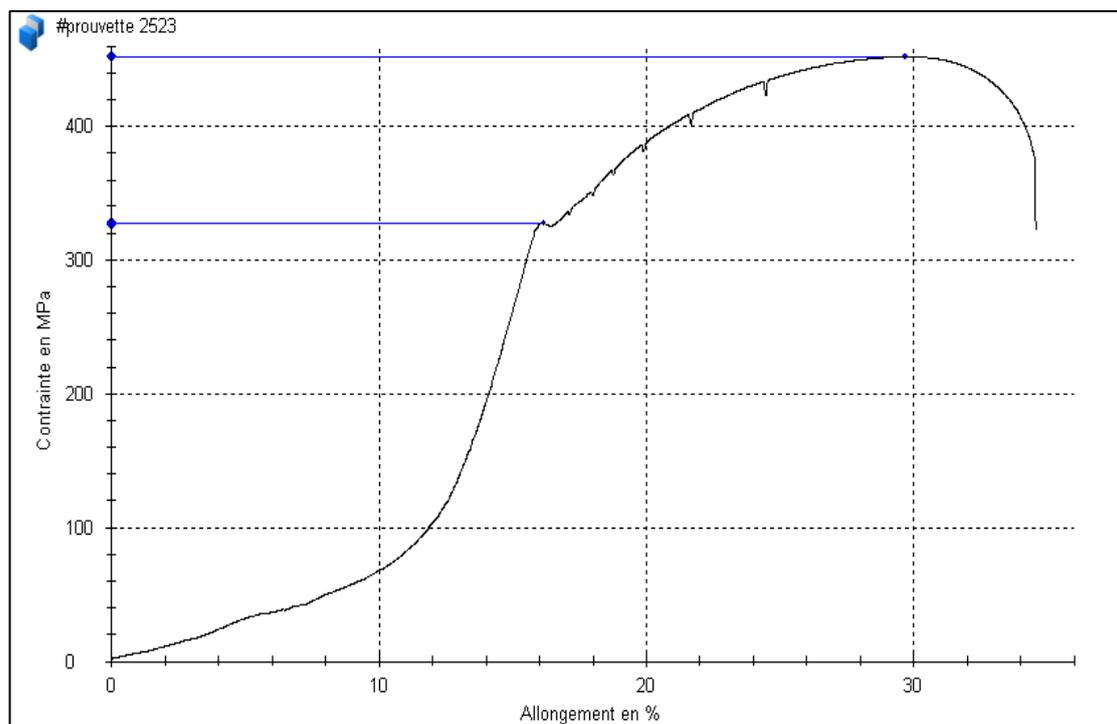


Figure III.14: Courbe de traction de tôle soudé par vitesse 11 mm/s, recuit à 600°C/30min

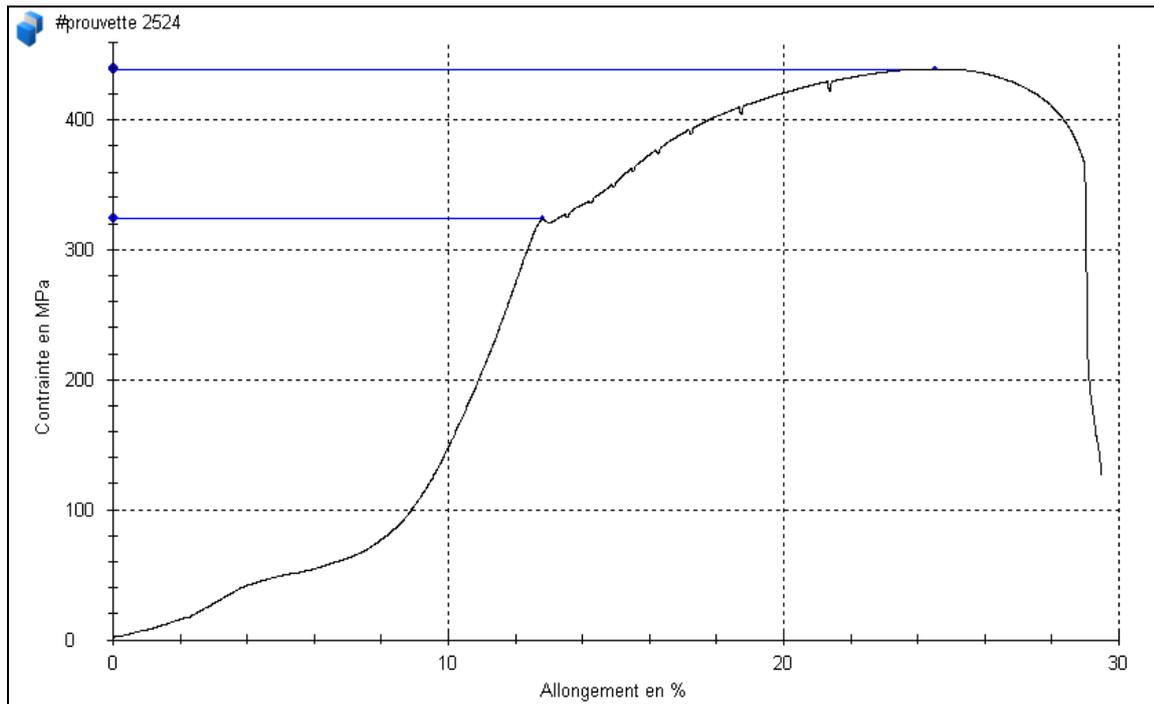


Figure III.15: Courbe de traction de tôle soudée par vitesse 11mm/s recuit à 600°C /60min

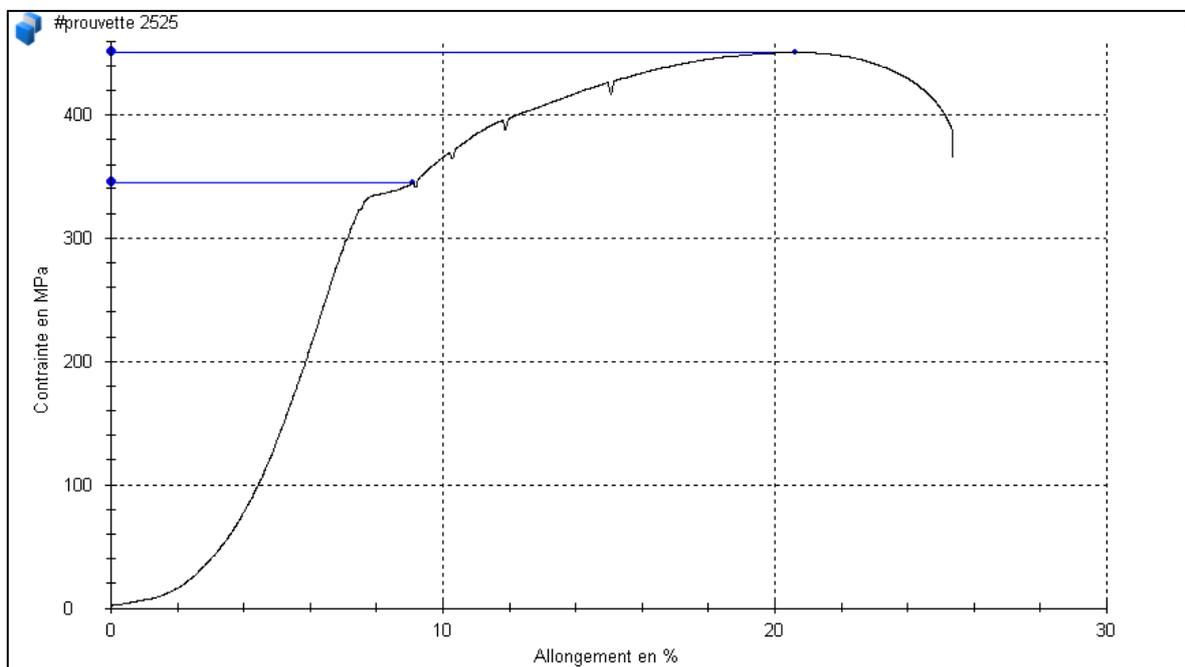


Figure III.16: Courbe de traction de tôle soudé par vitesse 11mm/s, recuit à 600°C/90min

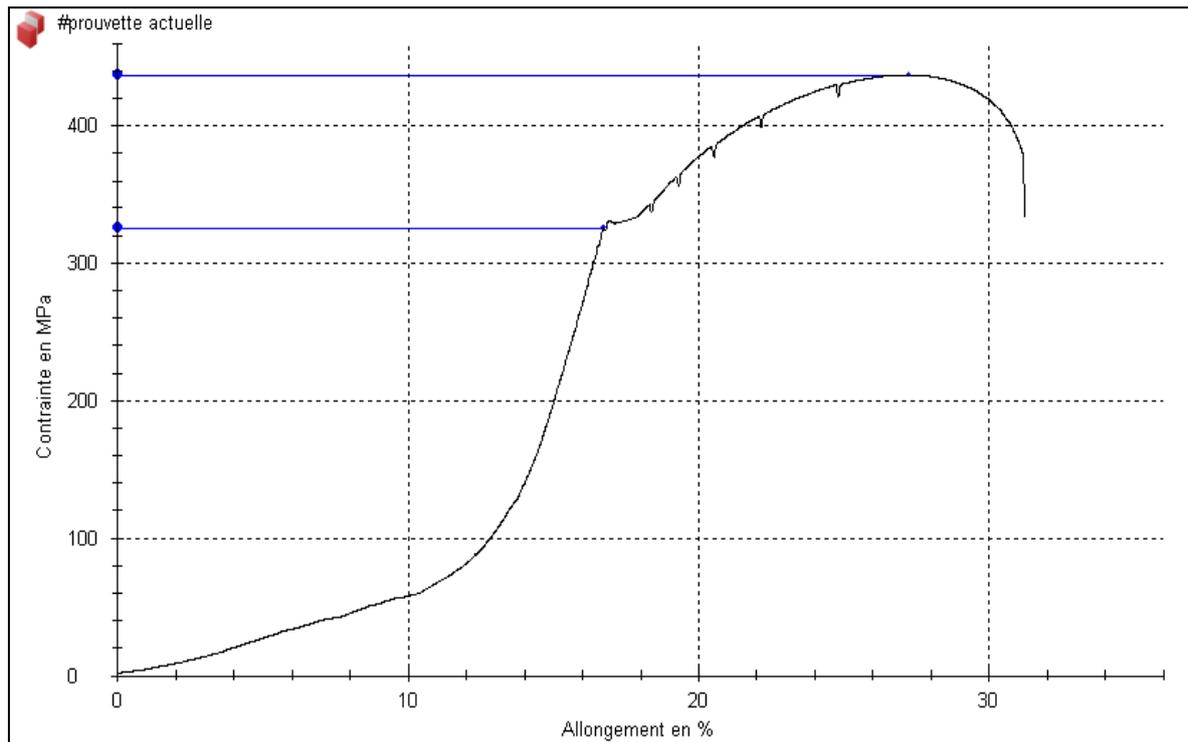


Figure III.17: Courbe de traction de tôle soudée par vitesse 11mm/s, recuit à 600°C/120min

III.3.1.2.La microdureté:

La figure III.19 représente les résultats de la microdureté des échantillons de l'acier BS2 recuit à 600°C pendant des temps différents. Dans ce résultat nous observons clairement la diminution de la microdureté par rapport à l'éprouvette de référence. Où la microdureté de l'éprouvette de référence est égale à 213HV, cette diminution est due à l'effet du recuit sur la morphologie des grains.

Mais dans le cas des échantillons traités et après la comparaison, nous avons remarqué que l'échantillon le plus doux est obtenu au temps de 90 minutes.

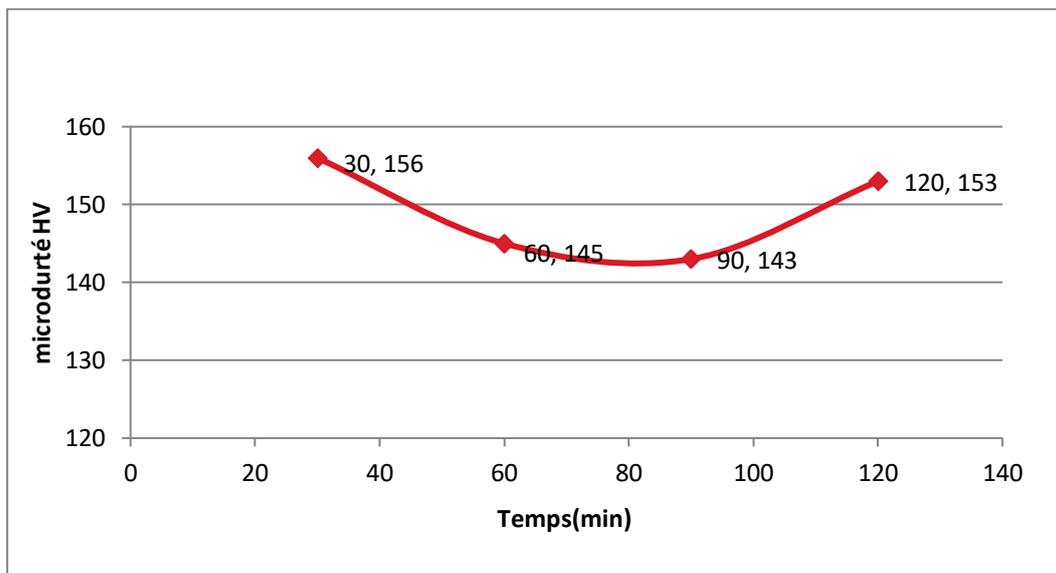


Figure III.19 : La variation de la microdureté Vickers en fonction du temps de maintien de l'acier BS2 à recuit à 600°C

III.3.2.Examen métallographie de l'acier BS2 soudée par vitesse de soudage = 11mm/s:

Les Figures (III.21.22.23) représentent les microstructures des échantillons de l'acier BS2 recuit à 600°C pendant 60 min, 90 min et 120 min, les figures montrent l'évolution microstructurale des échantillons recuits par rapport à l'échantillon de référence (figure III.20) et dans les figures des échantillons recuits nous observons des changements structuraux surtout dans les joints des grains.

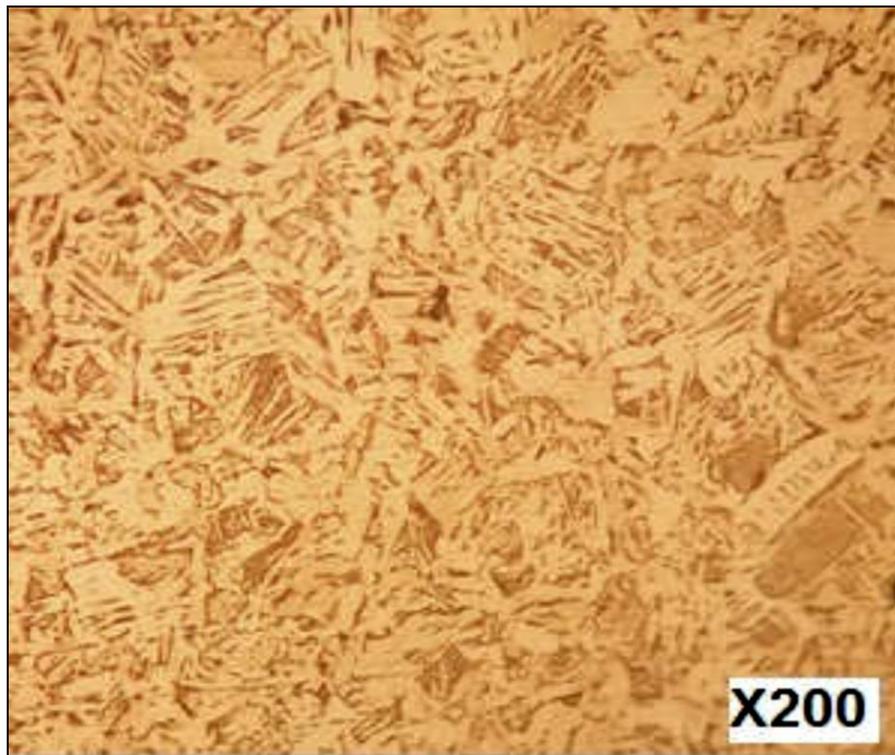


Figure III.20: Microstructures de joint soudée à vitesse 11mm/s

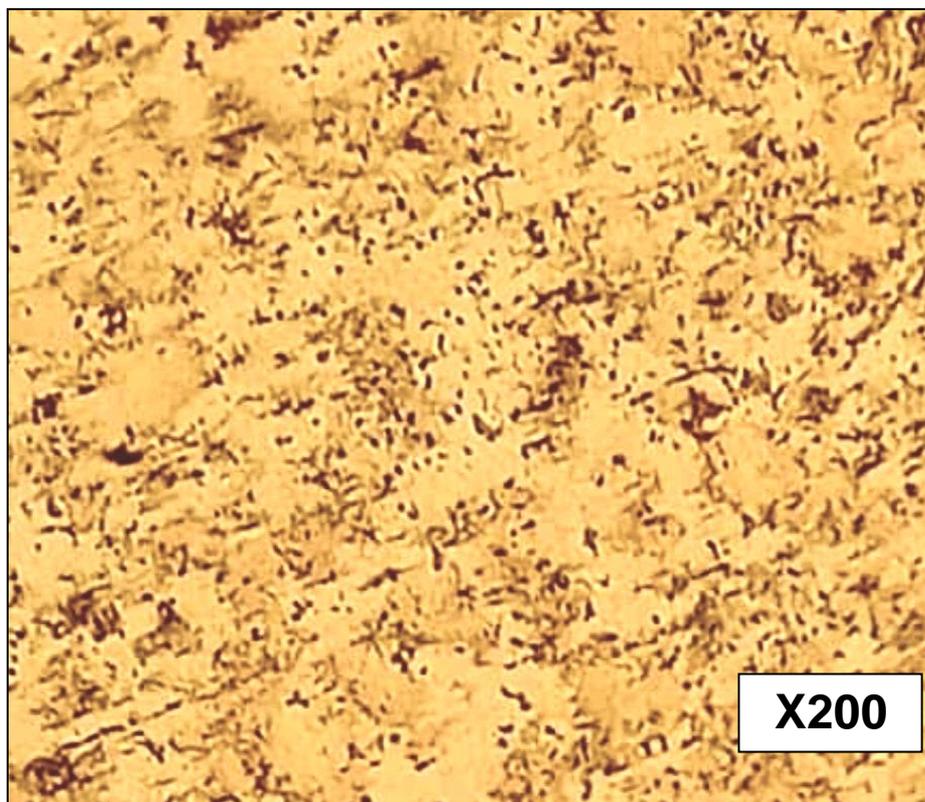


Figure III.21: Microstructures de joint soudé recuit à 600°C/60min

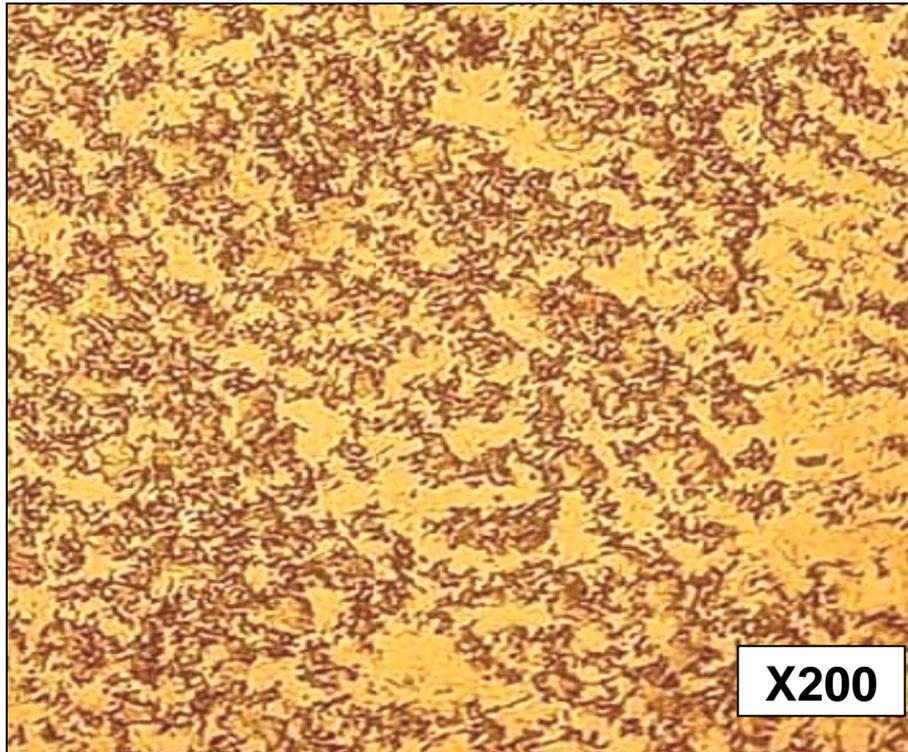


Figure III.22: Microstructures de joint soudé recuit à à 600°/90min

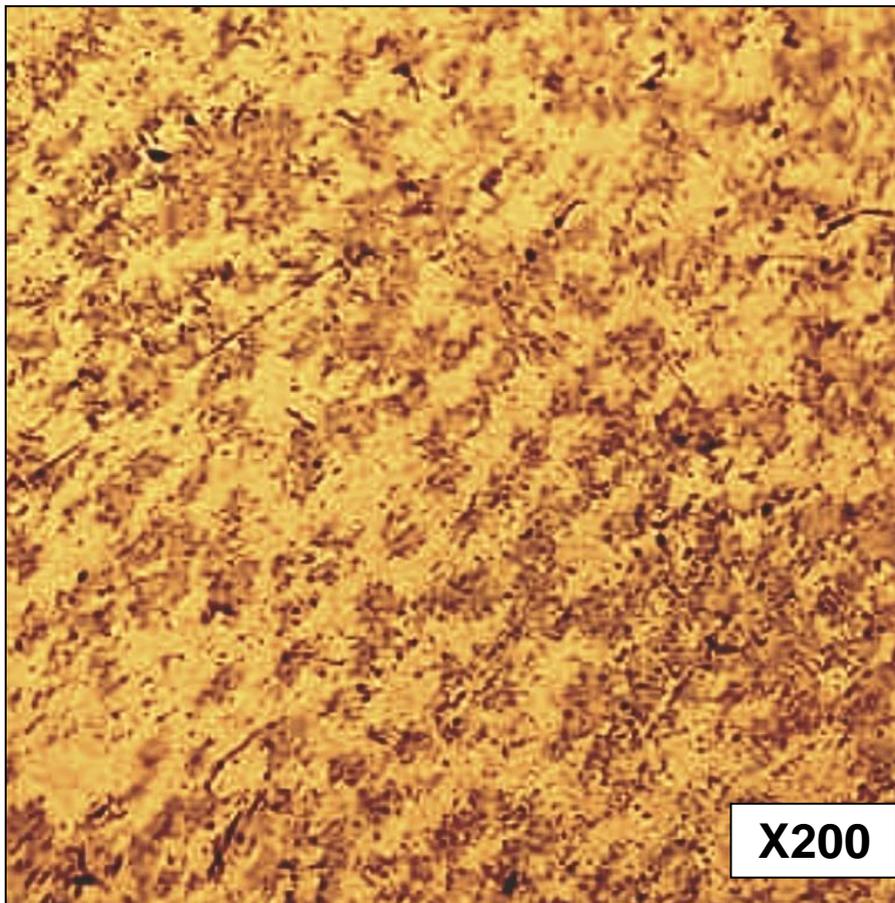


Figure III.23: Microstructures de joint soudé recuit à 600°C/ 120min

III.3.3. La diffraction des rayons X:

La figure (III.24) représente le spectre de diffraction des rayons X de l'acier BS2 après soudage à vitesse 11 mm/s.

Le spectre illustre l'apparition de nouveau pic à $2\theta = 29^\circ$ qui montre la présence d'oxyde de fer ($C_6H_{16}FeO_9$). Le spectre présente aussi les mêmes pics de l'acier BS2 (figure III.11) avec une différence d'intensité des pics qui montre l'orientation des mailles vers la diffraction.

Le spectre de diffraction des rayons X de l'acier soudé par vitesse 11mm/s et traité illustre dans la figure(III.25). Dans ce spectre nous avons les mêmes pics de l'acier BS2 avec quelques différences d'intensités. Et nous observons la disparition de pic d'oxyde de fer, la disparition est due à l'effet de traitement thermique.

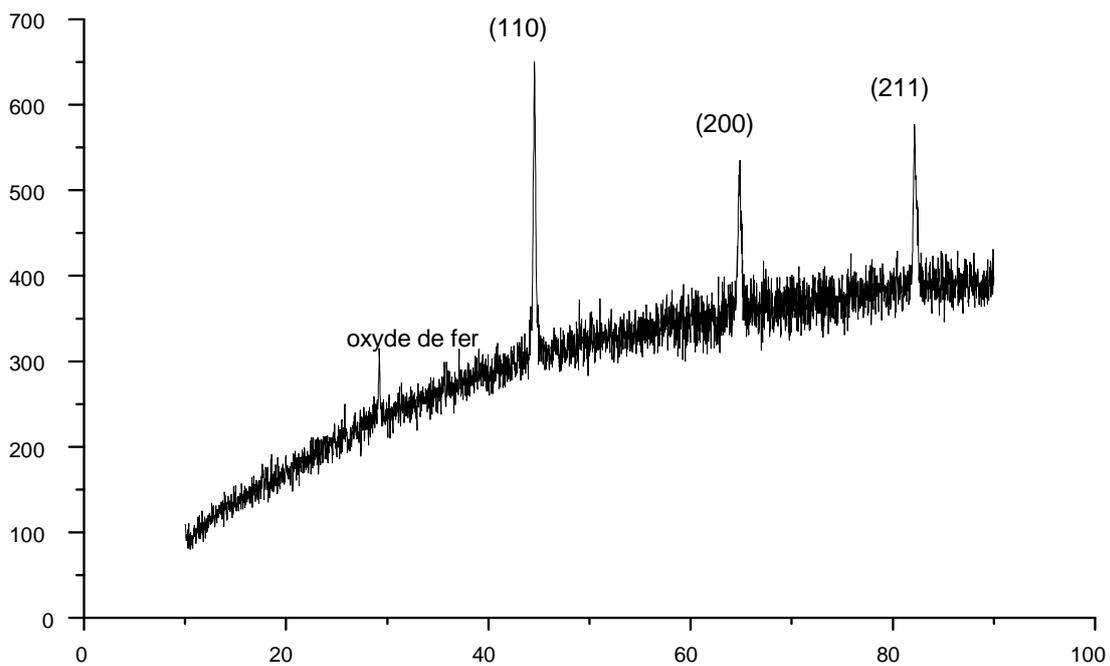


Figure III.24: Spectre de diffraction des rayons X de tôle soudée a vitesse 11mm/s

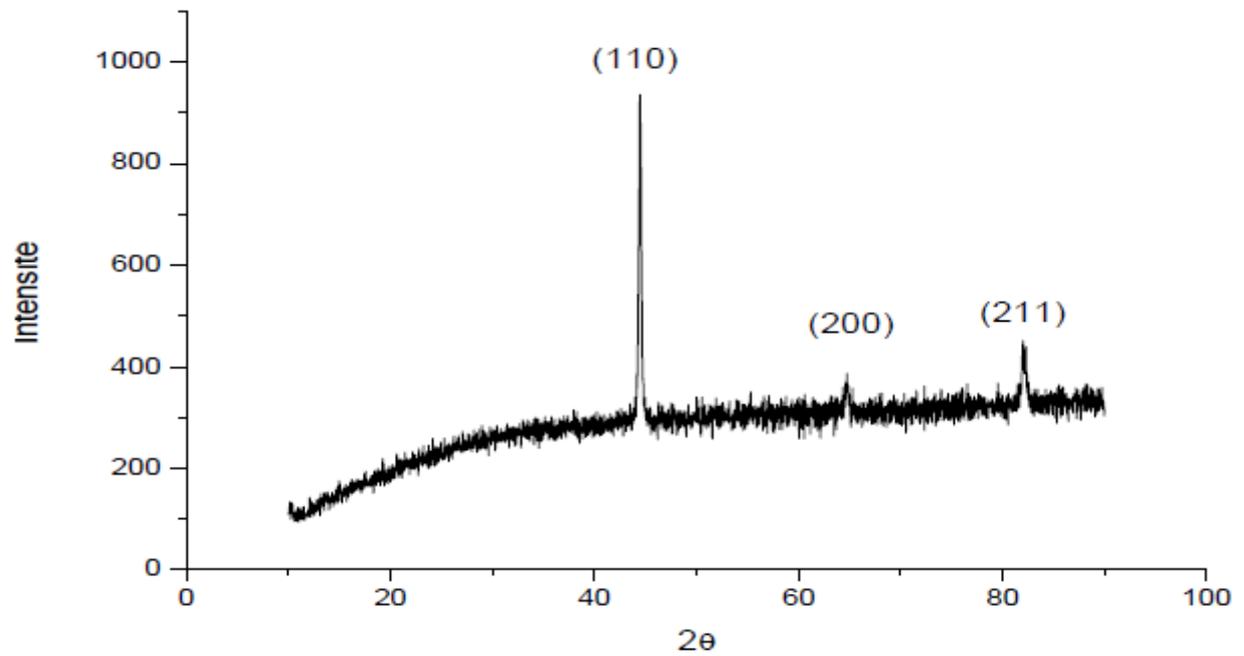


Figure III.25: Spectre de diffraction des rayons X de tôle soudée a vitesse 11mm/s et traité thermiquement

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est l'étude de l'effet de traitement thermique sur les propriétés mécaniques et microstructures de la zone affectée thermiquement (ZAT) de l'acier BS2 (P265NB) soudée avec deux vitesses différentes ($V = 8 \text{ mm/s}$ et $V = 11 \text{ mm/s}$), l'acier utilisée dans l'industrie de bouteilles à gaz B13, à l'entreprise (SNS) Batna.

Pour cela nous avons utilisé plusieurs techniques expérimentales essentielles, machine de traction, la microscopie optique, la diffraction des rayons X, la microdurométrie,

Les principaux résultats de ce travail peuvent se résumer de la manière suivante :

- La Diffraction des Rayons X l'acier BS2 après le soudage montre que l'acier est de structure ferritique de même que celui observé avant le soudage.
- Le meilleur durcissement est obtenu au temps 30 minutes dans les deux vitesses de soudage
- Le meilleur adoucissement est obtenu au temps 90 minutes dans les deux vitesses de soudage
- La meilleure résistance à la traction obtenue au temps 90 minutes
- La variation de la résistance à la traction est liée à la le changement de la tailles des grains
- On conclut que la meilleure résistance à la traction est obtenu à vitesse de soudage 8 mm/s

Référence bibliographique

- [1] Y. BARKAT, « Étude comparative entre deux procédés de soudage des pipelines », Mémoire de master, Université Mohamed Khider - Biskra, (2016).
- [2] K. Digheche, « Eude microstructurale de la zone affectée thermiquement dans un acier soudé » Doctorat thèse, Université Mohamed Khider – Biskra, (2016)
- [3] <http://www.wa-produr.com/aciers-anti-abrasion-et-hle/aciers-de-construction/aciers-hle/?Gclid=CK20gouqmM0CFRG3GwodhoINLA>, (2017)
- [4] S. Fricke, et al, « Numerical weld modeling - a method for calculating weld-induced residual stresses », Nuclear Engineering and Design 206, P 139-150, 2001
- [5] H. Yahiaoui, « Effet de l'espace interlamellaire sur le comportement sous chargements monotone et cyclique de l'acier perlitique C70 », thèse de doctorat, l'École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Tunis et l'école nationale supérieure d'arts et métiers, (2013).
- [6] W. LARBI, Cours de matériaux de construction-CCV015, Conservatoire National Des Arts et Métiers (chapitre 05), (2005).
- [7] A. Roos, B. Milet. "Précis de métallurgie Appliquée", Edition Technique et Documentation- Lavoisier (1982).
- [8] C-E. DERFOUF, « Effet de la soudure sur la structure de l'acier », thèse de doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra, (2011).
- [9] S. BENISSAAD "Le soudage", édition OPU.
- [10] MATHIEU. TOUBOUL, « Étude du comportement mécanique à chaud de l'acier P91 vers la compréhension des mécanismes intra / inter granulaires sur la tenue en fluage : application aux structures soudées », thèse de doctorat, l'école nationale supérieure des mines de paris, (2012).
- [11] S. HAMZA, « Caractérisation des joints soudés des pipelines en acier INOX 304L », thèse de doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra, (2019).
- [12] N. CHÉRIFI, « Effet du soudage par TIG sur l'aluminium industriel 1050A », thèse de doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra, (2015).
- [13] Gilbert R, « Soudage et assemblage-soudage », le Comité sectoriel de la main-d'œuvre dans la fabrication métallique industrielle (CSMOFMI) en collaboration avec le Centre d'élaboration des moyens d'enseignement du Québec (CEMEQ), 2010.

Référence bibliographique

- [14] E. BOUCHAREB K. LALMI, «Investigation des microstructures d'acier soudé à l'arc applications aux chassis - ACI – de M'SILA», Mémoire Master Académique, Université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, (2018)
- [15] K. ZOUAOUID; « Analyse avec Spectroscopie d'électron Auger de la réaction entre des couches minces en Chrome et des substrats en Acier » ; mémoire de master académique ; Univ Kasdi Merbah Ouargla ; 2011-2012.
- [16] N. GUELAI, F. BOUTERFIF ; « Comportements mécaniques Des aciers faiblement alliés avant et après cémentation » ; mémoire de master;(2015/2016).
- [17] [http : //ptetoile.free.fr/](http://ptetoile.free.fr/) Traitements thermiques des aciers,(2021)
- [18] M. MESSAOUI, Cours matériaux métalliques, Institut Supérieur Des Études Technologiques De Gafsa, (2014).
- [19] S. BENZAADA, Traitements Thermiques, Classification Et Désignation Des Aciers Et fontes.
- [20] A. TLILI, Cours matériaux métalliques, Ministère De L'enseignement Supérieur et De La Recherche Scientifique-Nabeul, (2014).
- [21] I. SERARIA, «Effet de traitement thermique sur la qualité d'une soudure en aciers», mémoire de master, Université Mohamed Khider-Biskra, (2016).
- [22] H. GRANJON. «Bases métallurgiques de soudage » 2ème édition. Publications de soudage et de ses applications Paris .1995.
- [23] J. BENARD, A. MICHEL, J. PHILIBERT, J. TALBOT, "Métallurgie Générale", MASSON, 1969.
- [24] A. LUCAS, «méthodes de caractérisation des propriétés thermomécaniques D'un acier martensitique», mémoire présenté à l'école de technologie supérieure, université du Québec, (2016).
- [25] A. HIDOURI, cours de matériaux métalliques, Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique, Direction Générale des Études Technologiques - Tunisie, (2016-2017).
- [26] M. GHOULAM, «Étude de l'influence des interruptions répétées des traitements thermiques sur les caractéristiques mécaniques du matériau des tubes laminés à chaud. », mémoire de master, université badji mokhtar- Annaba, (2018).

Référence bibliographique

- [27] M. MESSAOUI, support de cours matériaux métalliques, Ministère de l'enseignement supérieur de la recherche scientifique et de la Technologie Direction Générale des Études Technologiques - Tunisie, (2014-2015).
- [28] D. TOUALBIA, cours de sciences des matériaux, destiné aux étudiants de la deuxième année licence sciences et technique, option génie mécanique, Univ Mohamed Cherif Massaada Souk Ahras.
- [29] A. DEBABI, M.N. FETITA, «Étude des caractéristiques mécaniques d'un joint de soudure après application d'un traitement thermique. », mémoire de master académique, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, (2018).
- [30] G. BERANGER, G. HENRY, G. SANZ, " livre de l'acier", Ed. SOLLAC, 1996.
- [31] M. GHOULAM, «Étude de l'influence des interruptions répétées des traitements thermiques sur les caractéristiques mécaniques du matériau des tubes laminés à chaud. », mémoire de master, université badji mokhtar- Annaba, (2018).
- [32] Bernard Barthélémy. "Notions pratiques de mécanique de la rupture", Eyrolles 1980.
- [33] B. MEZRAG «Étude de l'influence des paramètres de soudage sur la microstructure et le comportement mécanique des assemblages acier-aluminium obtenu par soudage à l'arc MIG-CMT. », Thèse de doctorat, Université de Montpellier, (2015).
- [34] Des matériaux (Jean-Paul Bailon)

Annexe

Name and formula

Reference code: 00-014-0762
Compound name: Iron Oxalate
PDF index name: Iron Oxalate
Empirical formula: $C_6Fe_2O_{12}$
Chemical formula: $C_6Fe_2O_{12}$
Second chemical formula: $Fe_2(C_2O_4)_3$

Crystallographic parameters

Crystal system: Unknown

RIR: -

Subfiles and quality

Subfiles: Common Phase
Inorganic
Organic
Quality: Low precision (O)

Comments

Creation Date: 01/01/1970
Modification Date: 01/01/1970
Comment: ZrO_2 filter used.

References

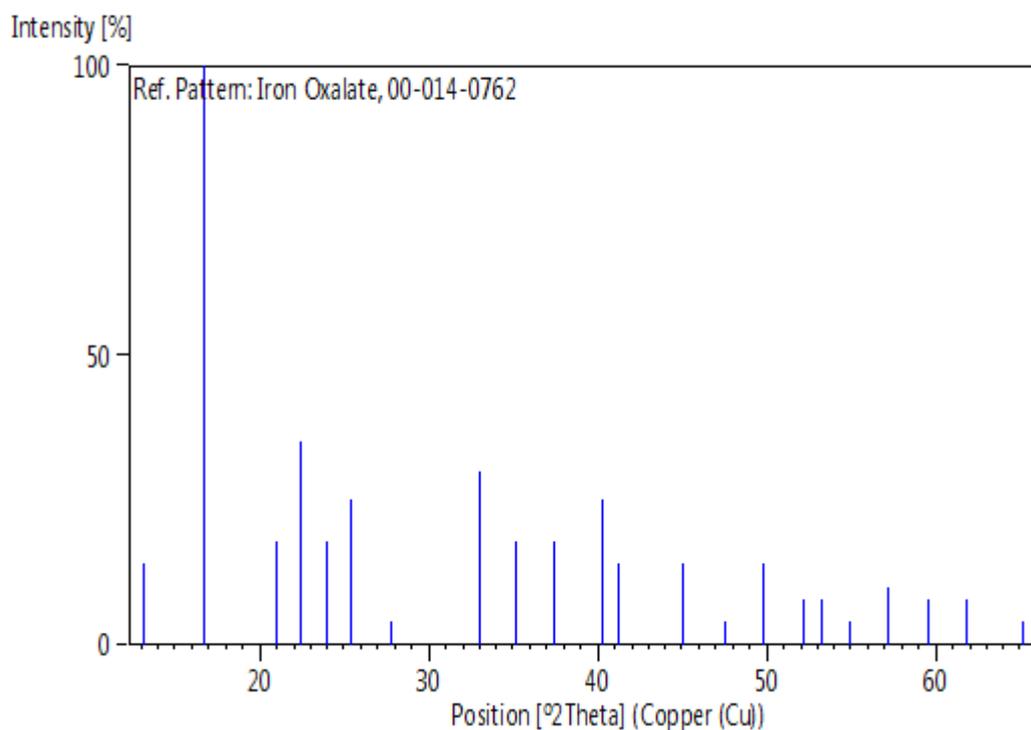
Primary reference: The Dow Chemical Company, Midland, Michigan, USA., *Private Communication*

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1				6,70000	13,204	14,0
2				5,30000	16,714	100,0
3				4,22000	21,035	18,0
4				3,96000	22,433	35,0
5				3,70000	24,033	18,0
6				3,50000	25,428	25,0
7				3,21000	27,769	4,0
8				2,71000	33,027	30,0
9				2,55000	35,165	18,0
10				2,40000	37,442	18,0
11				2,24000	40,227	25,0
12				2,19000	41,187	14,0

13	2,01000	45,068	14,0
14	1,91000	47,569	4,0
15	1,83000	49,787	14,0
16	1,75000	52,230	8,0
17	1,72000	53,212	8,0
18	1,67000	54,937	4,0
19	1,61000	57,168	10,0
20	1,55000	59,599	8,0
21	1,50000	61,799	8,0
22	1,43000	65,186	4,0

Stick Pattern



Name and formula

Reference code:	03-065-6169
Compound name:	Iron Carbide
PDF index name:	Iron Carbide
Empirical formula:	C_2Fe_5
Chemical formula:	Fe_5C_2

Crystallographic parameters

Crystal system:	Monoclinic
Space group:	C2/c
Space group number:	15

a (Å): 11,5620
 b (Å): 4,5727
 c (Å): 5,0595
 Alpha (°): 90,0000
 Beta (°): 97,7400
 Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm³): 7,60
 Volume of cell (10⁶ pm³): 265,06
 Z: 4,00

RIR: 1,98

Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD
 Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
 Inorganic
 NIST Pattern
 Quality: Calculated (C)

Comments

Creation Date: 01/01/1970
 Modification Date: 01/01/1970
 L 13317 11903 0. Temperature Factor: TF was not given, B set to 1.000 for calc
 Sample Preparation: was carburized by the method known to give a fully crystalline Hagg carbide from iron
 Temperature of Data Collection: 18. NATURE OF c-CARBIDE AND ITS POSSIBLE OCCURRENCE IN STEELS
 Deleted Or Rejected By: Delete: same as 01-089-2544.

References

Primary reference: *Calculated from NIST using POWD-12++*
 Structure: Jack, K. H., Wild, S., *Nature (London)*, **212**, 248, (1966)

Peak list

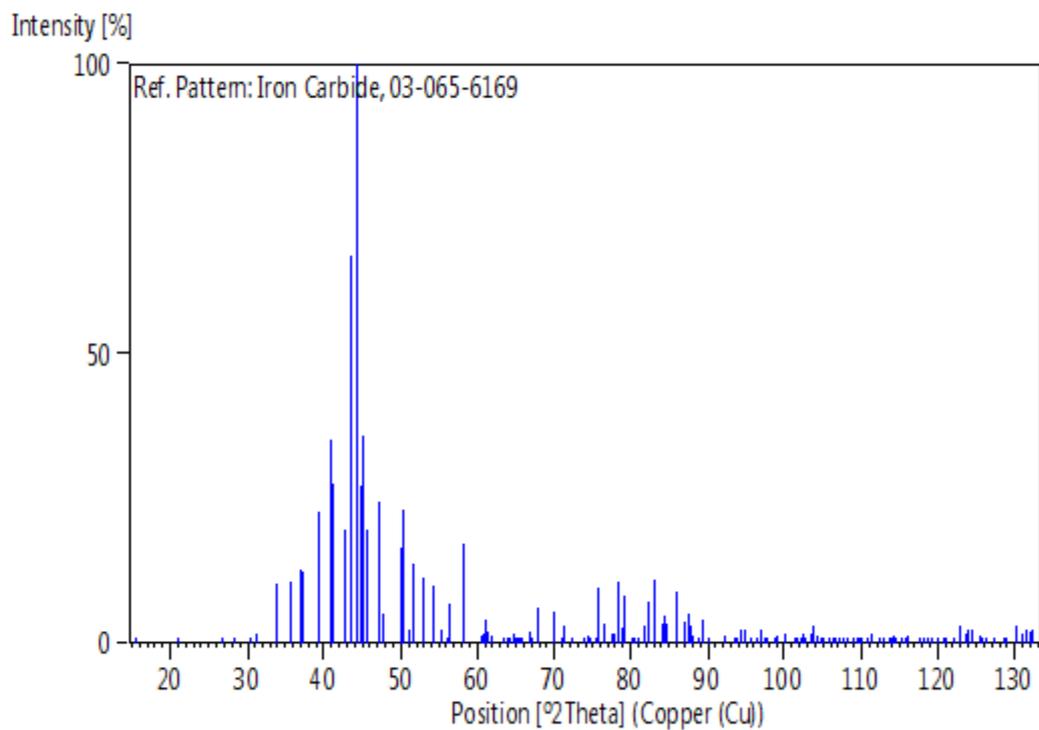
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	2	0	0	5,72833	15,456	0,1
2	1	1	0	4,24692	20,900	0,1
3	-1	1	1	3,32337	26,804	0,5
4	1	1	1	3,16355	28,186	0,1
5	3	1	0	2,93113	30,473	0,5
6	4	0	0	2,86417	31,203	1,6
7	-3	1	1	2,65269	33,762	10,3
8	0	0	2	2,50670	35,793	10,7
9	3	1	1	2,42358	37,064	12,6
10	-2	0	2	2,41923	37,133	12,3
11	0	2	0	2,28635	39,378	22,7
12	-1	1	2	2,20750	40,846	35,2
13	2	0	2	2,19065	41,174	27,6
14	1	1	2	2,11303	42,759	19,6

15	0	2	1	2,08024	43,467	67,1
16	5	1	0	2,04854	44,175	100,0
17	-4	0	2	2,02640	44,684	27,1
18	-3	1	2	2,01048	45,057	35,7
19	-2	2	1	1,99133	45,514	13,5
20	-5	1	1	1,98173	45,747	19,5
21	2	2	1	1,92116	47,276	24,5
22	6	0	0	1,90944	47,584	5,2
23	5	1	1	1,82111	50,046	16,6
24	3	1	2	1,81466	50,236	22,9
25	4	2	0	1,78685	51,074	2,5
26	4	0	2	1,77175	51,541	13,7
27	-4	2	1	1,72973	52,889	11,3
28	0	2	2	1,68900	54,267	10,0
29	-2	2	2	1,66168	55,235	2,5
30	4	2	1	1,64013	56,024	1,1
31	-6	0	2	1,62834	56,466	6,7
32	-1	1	3	1,58222	58,267	17,3
33	1	1	3	1,52928	60,490	1,2
34	-3	1	3	1,52099	60,855	1,7
35	-4	2	2	1,51649	61,055	4,0
36	1	3	0	1,51092	61,304	1,9
37	5	1	2	1,50018	61,791	1,4
38	6	2	0	1,46557	63,417	0,2
39	-1	3	1	1,45380	63,991	0,1
40	-6	2	1	1,44757	64,299	0,6
41	1	3	1	1,43960	64,699	1,6
42	8	0	0	1,43208	65,080	0,8
43	6	0	2	1,42902	65,237	0,9
44	7	1	1	1,42313	65,541	1,0
45	3	3	0	1,41564	65,931	0,2
46	4	2	2	1,40047	66,738	1,9
47	-7	1	2	1,39396	67,091	0,4
48	3	1	3	1,39120	67,242	0,3
49	-3	3	1	1,38051	67,833	6,2
50	-2	2	3	1,34492	69,884	5,5
51	-6	2	2	1,32634	71,010	0,8
52	-8	0	2	1,32255	71,244	2,9
53	-1	3	2	1,30431	72,396	0,2
54	2	2	3	1,28248	73,831	1,1
55	-4	2	3	1,27515	74,326	1,3
56	5	3	0	1,26909	74,742	0,1
57	-2	0	4	1,25988	75,383	0,3
58	0	0	4	1,25271	75,890	9,7
59	7	1	2	1,24424	76,500	3,4
60	-9	1	1	1,22857	77,657	1,5
61	9	1	0	1,22633	77,825	1,8
62	-1	1	4	1,21873	78,403	10,8
63	6	2	2	1,21164	78,951	2,7
64	-4	0	4	1,20901	79,157	8,2
65	3	3	2	1,20712	79,305	3,8
66	-3	1	4	1,19806	80,025	0,4
67	2	0	4	1,19134	80,569	0,3
68	1	1	4	1,18613	80,996	0,6
69	8	0	2	1,17706	81,752	3,0
70	4	2	3	1,17238	82,149	7,3
71	-6	2	3	1,16307	82,951	10,9
72	8	2	1	1,14996	84,111	3,5
73	10	0	0	1,14567	84,499	4,7
74	0	4	0	1,14318	84,725	3,4
75	-5	1	4	1,13079	85,876	8,9

76	-6	0	4	1,11922	86,983	3,9
77	7	3	0	1,11457	87,437	5,2
78	3	1	4	1,11098	87,792	2,9
79	-3	3	3	1,10779	88,110	1,2
80	-2	4	1	1,10024	88,873	0,6
81	4	0	4	1,09533	89,378	4,2
82	2	4	1	1,08796	90,148	0,9
83	7	3	1	1,06822	92,292	1,4
84	-9	1	3	1,05621	93,656	0,9
85	3	3	3	1,05452	93,852	0,7
86	-4	4	1	1,04915	94,482	2,3
87	8	2	2	1,04652	94,793	2,4
88	0	4	2	1,04007	95,569	0,3
89	-7	1	4	1,03895	95,705	0,5
90	-2	4	2	1,03359	96,364	0,1
91	4	4	1	1,02811	97,049	2,3
92	10	2	0	1,02427	97,536	1,1
93	-11	1	1	1,02174	97,860	0,6
94	5	1	4	1,01551	98,670	1,0
95	2	4	2	1,01348	98,938	1,3
96	-6	2	4	1,00524	100,043	1,5
97	-4	4	2	0,99566	101,366	0,5
98	10	0	2	0,99268	101,789	0,3
99	-10	2	2	0,99086	102,047	0,4
100	4	2	4	0,98782	102,484	1,5
101	7	3	2	0,98603	102,744	0,8
102	10	2	1	0,98065	103,534	1,6
103	-9	3	1	0,97817	103,903	3,1
104	5	3	3	0,97622	104,196	1,3
105	-1	3	4	0,97319	104,656	0,1
106	11	1	1	0,97080	105,022	0,2
107	-7	3	3	0,96976	105,182	0,3
108	1	1	5	0,96514	105,903	0,5
109	-3	3	4	0,96256	106,310	0,3
110	4	4	2	0,96058	106,626	0,2
111	1	3	4	0,95634	107,310	0,1
112	12	0	0	0,95472	107,575	0,1
113	6	4	1	0,95027	108,311	0,1
114	-5	1	5	0,94673	108,908	0,6
115	-9	3	2	0,94395	109,380	0,3
116	-2	4	3	0,94255	109,621	0,1
117	9	3	1	0,94091	109,904	0,3
118	-9	1	4	0,93960	110,133	0,1
119	-6	4	2	0,93562	110,833	0,1
120	8	2	3	0,93265	111,365	1,8
121	-5	3	4	0,92632	112,521	0,1
122	-2	2	5	0,92428	112,901	0,3
123	-11	1	3	0,92331	113,082	0,6
124	3	1	5	0,91984	113,739	0,4
125	0	2	5	0,91826	114,042	0,5
126	-4	4	3	0,91712	114,261	1,2
127	3	3	4	0,91599	114,481	0,3
128	1	5	0	0,91164	115,335	0,1
129	-10	0	4	0,90876	115,911	0,6
130	-4	2	5	0,90757	116,153	1,2
131	11	1	2	0,90093	117,520	0,1
132	-1	5	1	0,89863	118,006	0,1
133	1	5	1	0,89525	118,731	0,1
134	6	4	2	0,89262	119,303	0,3
135	2	2	5	0,88970	119,949	0,9
136	-12	2	1	0,88669	120,624	0,3

137	8	0	4	0,88588	120,809	0,2
138	-9	3	3	0,88423	121,186	0,9
139	-3	5	1	0,88048	122,057	0,1
140	4	4	3	0,87657	122,988	3,0
141	-7	3	4	0,87403	123,603	1,6
142	-6	4	3	0,87266	123,941	2,5
143	3	5	1	0,87054	124,467	2,3
144	8	4	1	0,86708	125,343	1,2
145	13	1	0	0,86487	125,912	1,1
146	-11	3	1	0,86371	126,214	0,4
147	11	3	0	0,85970	127,276	0,8
148	12	0	2	0,85473	128,637	0,2
149	1	5	2	0,85381	128,896	0,5
150	12	2	1	0,84938	130,159	3,0
151	-2	4	4	0,84661	130,974	1,5
152	-11	1	4	0,84517	131,402	2,2
153	4	2	5	0,84466	131,558	2,4
154	-2	0	6	0,84320	132,001	2,1
155	-1	3	5	0,84237	132,252	2,4

Stick Pattern



Résumé :

L'objectif de ce travail est l'étude de l'effet de traitement thermique sur de la zone affecte thermiquement (ZAT) de l'acier BS2 (P265NB) soudée avec deux vitesses différentes, l'acier utilisée dans l'industrie de bouteilles à gaz.

Pour cela nous avons utilisé les techniques suivantes : machine de traction, la microscopie optique, la diffraction des rayons X, la microdurométrie.

Les principaux résultats de ce travail est suivants :

- La Diffraction des Rayons X l'acier BS2 après le soudage montre que l'acier est de structure ferritique de même que celui observé avant le soudage.
- Le meilleur durcissement est obtenu au temps 30 minutes dans les deux vitesses de soudage.
- La meilleure résistance à la traction obtenue au temps 90 minutes.
- La meilleure résistance à la traction est obtenu à vitesse de soudage 8mm/s.

Mots-clés : Soudage, traitement thermique, Acier BS2, vitesse de soudage, DRX., traction.

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير المعالجة الحرارية على المنطقة المتأثرة حرارياً (ZAT) للفولاذ BS (P265NB) الملحوم بسرعتين مختلفتين ، الفولاذ المستخدم في صناعة قارورات الغاز لهذا استخدمنا التقنيات التالية :آلة الشد ، الفحص المجهرى البصرى ، حيود الأشعة السينية ،جهاز قياس الصلادة. النتائج الرئيسية لهذا العمل هي:

- ثبت تحليل حيود الأشعة السينية ان سبائك BS2 قبل و بعد اللحام ذو بنية فريتية.
 - حصلنا على القيمة العليا للصلادة بعد معالجة 30 دقيقة لكلا سرعتي اللحام.
 - أفضل مقاومة شد حصلنا عليها بعد معالجة 90 دقيقة.
 - يتم الحصول على أفضل مقاومة شد عند سرعة اللحام 8 مم / ثانية.
- الكلمات المفتاحية :** لحام، معالجة حرارية، فولاذ BS2 ، سرعة اللحام، انعراج الأشعة السينية، الشد .