

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département :
Ref :



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم:
المرجع:

Thèse présentée en vue de l'obtention
du diplôme de

Doctorat en sciences en : Génie Mécanique

Option : Métallurgie

**Cinétique et mécanismes des transformations de
phases dans un acier soudé**

Présentée par :

RAOUACHE El hadj

Soutenue publiquement le

Devant le jury composé de :

| | | | |
|-------------------------|------------|------------|----------------------|
| Dr. AMRANE Nadhir | Professeur | Président | Université de Biskra |
| Dr. BOUMERZOUG Zakaria | Professeur | Rapporteur | Université de Biskra |
| Dr. CHALA Abdelouahad | Professeur | Examineur | Université de Biskra |
| Dr. BRADAI Djamel | Professeur | Examineur | USTHB Alger |
| Dr. BOUABDALLAH Mabrouk | Professeur | Examineur | ENP Alger |
| Dr. ALLEG Safia | Professeur | Examineur | Université d'Annaba |

Introduction générale

Parmi les procédés d'assemblages, le soudage occupe une place importante dans toute les branches d'industrie, car il permet d'adapter au mieux, les formes de construction aux contraintes qu'elles sont appelées à supporter en service.

Le soudage est une opération qui consiste à réunir deux ou plusieurs parties constitutives d'un assemblage, de manière à assurer la continuité entre les parties à assembler soit par chauffage ; soit par intervention par pression ; soit par l'un ou l'autre, avec ou sans métal d'apport dans la température de fusion est du même ordre de grandeur que celle de matériaux de base.

Parmi les procédés de soudage par chauffage, on trouve le soudage à l'arc électrique. Cette technique est la plus utilisée pour assembler deux pièces en acier.

Dans ce contexte on a essayé d'étudier l'effet de soudage à l'arc électrique sur un acier à faible pourcentage en carbone (0.05 % C) connu sous le nom (AISI 1050). Afin de mieux comprendre les transformations de phases qui se produisent lors d'une opération de soudage, un système de simulation pratique a été utilisé. Des techniques de caractérisation variées et efficaces ont été utilisées afin de mettre en évidence toutes les changements microstructuraux et mécaniques de l'acier soudé.

La thèse est composée de deux grandes parties. La première partie rassemble des informations bibliographiques sur les techniques de soudage et aussi l'effet de soudage sur certains types d'acier très proches à notre matériau. Cette partie est constituée de deux chapitres.

La deuxième partie de la thèse, rassemble les techniques utilisées dans un seul chapitre et les résultats de notre étude avec leur interprétation dans le dernier chapitre.

A la fin du manuscrit, une conclusion générale est présentée avec une liste globale des différentes références bibliographiques utilisées.

Résumé :

L'objectif de cette étude est de connaître l'effet de soudage à l'arc sur les microstructures et les propriétés mécaniques d'un acier à bas carbone. Différentes techniques ont été utilisées (DRX, MO, MEB, Dureté). La microstructure de chaque zone du joint soudé (ZAT, ZF) a été mise en évidence. Cependant des traitements thermiques isothermes ont été appliqués sur l'acier soudé afin d'homogénéiser le joint soudé avec le métal de base.

ملخص :

إن الهدف من هذه الدراسة هو معرفة مدى تأثير التلحيم الكهربائي في البنية والخصائص الميكانيكية للفولاذ المتكون من نسبة قليلة من الكربون ، تم استعمال عدة تقنيات للدراسة (أشعة س، المجهر الضوئي والالكتروني و قياسات الصلادة).تم تحديد بنية كل منطقة من حد التلحيم. من جهة أخرى تم تطبيق عدة معالجات حرارية لجعل المنطقة الملحمة والمعدن الأساسي متجانسين.

Abstract:

The aim of this study is to investigate the effect of arc welding on microstructures and mechanical properties of low carbon steel. Different techniques of characterization have been used (XRD, OM, SEM, Hardness). Microstructure of each zone of welded zone has been determined. On the other hand; isothermal heat treatments have been applied in order to homogenize the weld metal with the base metal.

Sommaire

| | |
|----------------------------|---|
| Introduction générale..... | 1 |
|----------------------------|---|

Chapitre I : Soudage des aciers

| | |
|--|----|
| I.1. Introduction..... | 3 |
| I.2. Classification des différents aciers..... | 3 |
| I.3. Structure des aciers de base..... | 6 |
| I.3.1. Les aciers au carbone..... | 7 |
| I.3.2. Le traitement d'austénitisation..... | 11 |
| I.3.3. La montée en température..... | 11 |
| I.3.4. Le maintien en température..... | 13 |
| I.3.5. Mécanisme de la transformation lors de l'austénitisation..... | 14 |
| I.4. Rôle des éléments d'alliages..... | 15 |
| I.5. Procédés et notions de soudage..... | 21 |
| I.6. Classification des procédés de soudage..... | 24 |
| I.7. Principaux procédés de soudage..... | 26 |
| I.7.1. Le soudage MIG/MAG..... | 27 |
| I.8. L'arc électrique..... | 29 |
| I.8.1. Composition..... | 29 |
| I.9. Références..... | 37 |

Chapitre II : Soudage des aciers faiblement alliés

| | |
|---|----|
| II.1. Notions sur les phénomènes thermiques et métallurgiques de soudage..... | 41 |
| II.2. Aspect thermique liés au soudage..... | 42 |
| II.4. Le joint soudé..... | 45 |
| II.4.1. La zone fondue..... | 45 |
| II.4.2. La zone affectée thermiquement..... | 45 |
| II.4.3. La zone de liaison..... | 46 |
| II.4.4. Le métal de base..... | 46 |
| II.5. Exemples d'étude sur le joint soudé..... | 47 |
| II.5.1. Zone affectée thermiquement (ZAT)..... | 47 |
| II.5.2 La zone fondue (Métal déposé) (ZF)..... | 49 |
| II.6. Cycles thermiques..... | 53 |
| II.6.1. Représentation tridimensionnelle des températures..... | 54 |
| II.7. Transformation au refroidissement..... | 56 |
| II.8. Aspect thermique du soudage..... | 58 |
| II.9. Les conséquences mécaniques du soudage..... | 60 |
| II.10. Les défauts de soudures..... | 62 |
| II.10.1. Les inclusions..... | 62 |
| II.10.2. Les soufflures..... | 62 |
| II.10.3. Les criques..... | 62 |
| II.10.4. Les arrachements lamellaires..... | 63 |
| II.10.5. La fissuration à froid..... | 64 |
| II.11. Autres défauts..... | 65 |
| II.12. Conclusion..... | 66 |
| II.13. Références..... | 67 |

Chapitre III : Méthodes expérimentales

| | |
|---|----|
| III.1. Introduction | 70 |
| III.2. Choix du matériau | 70 |
| III.2.1. Identification du métal d'apport..... | 71 |
| III.2.2 Condition de soudage..... | 71 |
| III.3. Préparation métallographique des échantillons..... | 73 |
| III.5. Observations microscopique..... | 75 |
| III.6. Mesure de microdureté..... | 76 |
| III.7. Observations en microscope électronique à balayage (MEB) | 77 |
| III.8. Analyse par diffraction des rayons X..... | 78 |
| III.9. Calcul la taille des grains..... | 80 |
| III.10. Technique de simulation physique du soudage..... | 81 |
| III.10.1. Introduction..... | 81 |
| III.10.2. Principe | 82 |
| III.10.3. Les conditions des cycles thermiques..... | 86 |
| III.10.4. Plan d'expérience..... | 87 |

Chapitre IV : Résultats et interprétations

Partie A : Effet des traitements thermiques sur le joint soudé

| | |
|---|------------|
| IV. 1. Introduction..... | 90 |
| IV. 2. Évolution des microstructures..... | 92 |
| IV. 3. Effet des traitements thermiques sur le joint soudé..... | 94 |
| IV. 3.1. Effet des traitements thermiques sur la taille des grains..... | 100 |
| VI.4. Analyse par le MEB..... | 101 |
| IV. 5. Les mesures de microdureté..... | 103 |
| IV. 6. Analyse par DRX..... | 106 |
| Partie B : Simulation physique du soudage | 108 |
| IV. I. Introduction..... | 108 |
| IV. 2. Aspects thermiques liés au soudage..... | 108 |
| IV. 3. Limite des zones thermiques considérées dans une section transversale..... | 113 |
| IV. 4. Vitesses de refroidissement dans les zones thermiques considérées..... | 114 |
| IV. 5. Temps de solidification du métal fondu dans la zone de fusion..... | 115 |
| IV. 6. Microstructure après simulation physique..... | 116 |
| IV. 7. Microstructure après soudage | 124 |
| IV. 8. Analyse par MEB | 126 |
| IV. 9. Etude comparative..... | 126 |
| IV. 10. Calcul la taille des grains..... | 128 |
| IV. 11. Mesure de micro dureté | 130 |
| IV. 12. Analyse par DRX..... | 132 |
| IV. 13. Références..... | 133 |

| | |
|---------------------------------|------------|
| Conclusion générale..... | 136 |
|---------------------------------|------------|