

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique**

Université Ferhat Abbas- Sétif 1

Institut : Optique et Mécanique de Précision

Département : Optique et mécanique de précision

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Optique et Mécanique de Précision

Spécialité : Mécanique des Matériaux

Mémoire de Master

Contrôle d'un cordon en Aluminium par soudage à froid sur différents supports

Réalisé par : BEKIOUA Boubakar

**Dirigé Par : Dr. KENZOUR Abdelghani
Pr. LOUCIF Kamel**

Devant le jury :

(Président) : **Dr. LAMIRI Imane**

(Examineur) : **Dr. BELLA Mohamed**

Soutenue le : 03 / 07 /2023

Table de matière

INTRODUCTION GENERALE :

Introduction	1
--------------------	---

CHAPITRE I : GENERALITES

I.1 La fabrication additive	3
I.1.1 Définition	3
I.1.2 Principe de la fabrication additive	3
I.1.3 Les étapes principales du procédé de fabrication additive.....	4
I.1.4 Classification des différents types de prototypage.....	5
I.1.4.1 Le prototypage virtuel.....	5
I.1.4.2 Le prototypage rapide	5
I.1.5 Généralités sur les procédés de fabrication.....	5
I.1.6 Classification des processus FA.....	6
I.1.7 Intérêt et limites au développement	7
I.1.7.1 Avantages du procédé de FA	7
I.1.7.2 Limitations technologiques au développement de la FA dans l'industrie	7
I.1.8 La fabrication additive des pièces métalliques	8
I.1.9 Procédés (FA) métalliques existants	8
I.1.10 Procédés utilisant du fil.....	9
I.1.10.1 Laser-fil.....	9
I.1.10.2 Faisceau d'électrons-Fil	10
I.1.10.3 Arc-Fil.....	10
I.1.10.4 Comparaison des procédés.....	10
I.2 Les différents types de technologies de soudage à l'arc utilisées en WAAM	11
I.2.1 Généralités sur le soudage	11
I.2.1.1 L'opération de soudage.....	12
I.2.1.2 Les différentes sources d'énergie utilisées en soudage.....	12
I.2.2 La technologie WAAM (wire arc additive manufacturing).....	12
I.2.2.1 Les différents paramètres du procédé WAAM	13
I.2.2.2 Variation de morphologie et dimensions du cordon	14

I.2.2.3 Classification du WAAM	15
I.2.2.4 Procédé arc-fil MIG-MAG ET GMAW (MIG: Metal Inert Gas, MAG: Metal Active Gas, GMAW: Gas Metal Arc Welding)	16
I.2.2.5 Le procédé arc-fil TIG (GTAW).....	17
I.2.2.6 Procédé à l'arc plasma	17
I.3 Le procédé CMT (Cold Metal Transfer).....	18
I.3.1 Principe du procédé CMT	18
I.3.2 Les modes de procède CMT	19
I.3.3 Paramètres de soudage CMT	19
I.4 Les alliages d'aluminium	20

CHAPITRE II : METHODES EXPERIMENTALES

II.1. Elaboration des échantillons.....	22
II.1.1. Choix Des Matériaux.....	22
II.1.2. Préparation Des Substrats	24
II.1.2.1. Tronçonnage	24
II.1.2.2. Meulage Des Substrats	24
II.1.3. Elaboration des échantillons (cordon sur substrat).....	25
II.1.4. Tronçonnage des échantillons	32
II.1.5. Enrobage des échantillons après micro tronçonnage.....	33
II.1.6. Polissage des petits échantillons.....	34
II.2. Caractérisations des échantillons.....	35
II.2.1. Teste de cisaillement	35
II.2.2. Test de dureté.....	39
II.2.3. Observation métallographique.....	40

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Aspect de cordon réalisé sur les différents substrats à l'œil nu.....	43
III.2. L'adhérence des cordons aux substrats	45
III.3. Micrographie de l'interface cordon métal de base	50
III.4. Profile de dureté cordon –métal de base	55
III.5. Microstructure de milieu de cordon	60

CONCLUSION GENERALE

Conclusion..... 62

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES 64

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction

Il existe plusieurs méthodes pour assembler les pièces en mécanique. Le soudage est parmi les méthodes d'assemblages les plus adoptées autours du monde dans tous les secteurs du domaine de la construction mécanique, notamment : la construction marine, la construction navale, la construction automobile et la construction immobilière. On peut distinguer entre plusieurs catégories de soudages selon : la distribution de la matière soudée, la nature et la forme du métal d'apport, ainsi que le type d'énergie employée. La catégorie la plus répandue en quotidien est sans doute le soudage à l'arc, où les pièces se fusionnent entre elles à l'aide d'un métal d'apport par arc électrique [1].

Cependant, les méthodes conventionnelles de soudage à l'arc servent généralement à assembler les pièces dont le métal de base est de la même nature, c'est ce qu'on appelle le soudage homogène (similaire). En outre, avec l'évolution industrielle et les contraintes imposées par cette évolution, on se trouve face au problème de souder deux pièces fabriquées à partir de deux matériaux de base totalement différent, c'est ce qu'on appelle le soudage hétérogène ou dissimilaire. A titre d'exemple, pour alléger un véhicule, il faut remplacer le matériau avec lequel les parties faiblement sollicitées sont fabriquées (par exemple l'acier) avec un alliage plus léger (par exemple un alliage d'aluminium), tout en gardant les parties mécaniquement sollicitées tel qu'elles sont fabriquées (à base d'acier). Dans ce cas lorsque on veut assembler les différentes parties, on se trouve obliger de souder deux matériaux différents, ce qui n'est pas facile dans la plupart du temps [2]. En effet, il faut assurer une jonction très forte et homogène entre deux matériaux dont les propriétés physiques et physicochimiques intrinsèques sont très différentes et jouent un rôle primordial pour atteindre un cordon homogène et résistant.

Autrement, pour réussir un cordon de soudure très satisfaisant, il faut trouver les paramètres adéquats pour franchir les barrières créées par la différence des propriétés intrinsèques des deux métaux de base.

Parmi les procédés de soudage à l'arc récemment inventés est celle de la firme Fronius : le soudage MIG-MAG en mode CMT (Cold Metal Transfer). Comme son nom indique, c'est un mode de soudage MIG-MAG, avec une énergie de fusion la plus faible possible et un cycle de soudage contrôlé avec précision infinie.

Dans ce travail, on a envisagé d'étudier le soudage dissimilaire de plusieurs matériaux avec un métal d'apport à base d'aluminium d'un point de vue mécanique et microstructurale, tout en jouant sur quelques paramètres de soudage MIG-MAG en mode CMT. Cette étude a aussi

pour but, de se familiariser plus avec le procédé CMT vis-à-vis le cordon de soudure, qui est la brique élémentaire pour la fabrication additive WAAM. Autrement, la maîtrise des paramètres de réalisation des cordons de soudures en mode CMT, nous sert à améliorer et commander le plus la qualité des pièces additivement fabriquées par WAAM-CMT.

Pour atteindre ces buts, on a choisi de diviser ce mémoire en trois chapitres couronnés avec une conclusion générale, et ils sont comme suit :

Le premier chapitre est consacré pour présenter une revue bibliographique des principes et techniques de la fabrication additive, ainsi que les principes des principaux procédés de soudage, et parmi ces procédés le soudage MIG-MAG en mode CMT.

Le deuxième chapitre est consacré pour décrire en détails les méthodes expérimentales pour élaborer les cordons, et le mode opératoire selon lequel on a préparé les échantillons utilisés par la suite pour étudier l'influence des paramètres d'élaboration des cordons par MIG-MAG en mode CMT sur les propriétés micrographiques et mécaniques des échantillons.

Le troisième chapitre est consacré à l'interprétation des résultats issus des essais de cisaillement et de dureté, ainsi que la microstructure de la surface de la coupe transversale pour évaluer la taille des grains, la nature de microstructure et les défauts internes.

En fin on termine le travail par une conclusion.

Résumé : Le procédé de soudage MIG en mode CMT est un procédé récemment inventé, qui permet de contrôler plus les paramètres de soudage pour aboutir aux résultats d'assemblage les plus convaincants, et franchir les barrières imposées par les limitations des procédés d'assemblage par soudages conventionnels. Parmi les limitations de ces procédés est le soudage des matériaux dissimilaires qui est un axe de recherche évoluant avec les avancées techniques actuelles.

Dans la présente étude, nous envisageons de maîtriser la technique de soudage MIG en mode CMT pour assembler des matériaux de différentes natures par cordon en aluminium de la série 5000 (Al Mg5 Cr). Le travail se résume en la caractérisation, microstructurale et mécanique, de cordons élaborés sur des supports de différents matériaux (aluminium, acier, laiton) tout en jouant sur deux paramètres de soudage, à savoir : le courant de soudage et la vitesse de la torche.

Les résultats obtenus après caractérisations permettent de faire la liaison entre les paramètres de soudage et la qualité de cordons élaborés de point de vue microstructures et propriétés mécaniques.

Mots clés : Soudage dissimilaire, alliage d'aluminium, MIG-CMT, microstructures, dureté.

المخلص: تقنية اللحام MIG في وضع CMT هي تقنية تم اختراعها مؤخرًا، والتي تسمح بمزيد من التحكم في مدخلات ومعايير اللحام لتحقيق نتائج التجميع الأكثر ملاءمة، والتغلب على الحواجز التي تفرضها قيود عمليات التجميع بواسطة اللحام التقليدي. من بين قيود هذه العمليات هو لحام المواد غير المتشابهة وهو مجال بحث يتطور مع التطورات التقنية الحالية.

في هذه الدراسة، نخطط لإتقان تقنية اللحام MIG في وضع CMT لتجميع المواد ذات الطبيعة المختلفة بواسطة سبيكة الألومنيوم (Al Mg5 Cr) من سلسلة 5000. يتلخص العمل في التوصيف المجهر هيكلي والميكانيكي، لخيوط التلحيم المعدة على دعائم من مواد مختلفة (الألومنيوم، الفولاذ وسبيكة النحاس) أثناء اللعب على مدخلين أساسيين للتلحيم MIG في وضع CMT، وهما: تيار اللحام وسرعة تقدم مسدس التلحيم. تتيح النتائج التي تم الحصول عليها بعد التوصيف إمكانية الربط بين مدخلات اللحام وجودة خيوط اللحام المنتجة من وجهة نظر الهيكلة المجهرية والخصائص الميكانيكية.

الكلمات المفتاحية: اللحام المتباين، سبائك الألومنيوم، MIG-CMT، الهيكلة المجهرية، الصلابة.