

WAAM d'alliages d'aluminium à haute résistance

Projet de recherche WAALU

Le projet WAALU vise à lever les verrous scientifiques et technologiques bloquant la mise en œuvre des alliages aluminium dans le cadre du procédé WAAM. Une attention particulière sera accordée à la sensibilité à la fissuration thermique (type et composition chimique des additifs), ainsi qu'aux stratégies d'impression/fabrication WAAM et aux paramètres du processus (de soudage). L'équipe de chercheurs a également pour objectif d'étudier et d'optimiser la séquence des post-traitements (traitement thermique et/ou finition de surface) qui peuvent être nécessaires pour garantir la qualité et les propriétés mécaniques voulues des pièces fabriquées.

Auteurs: Rafael Nunes, Wim Verlinde et Koen Faes (Institut Belge de Technologie du Soudage); Aude Simar et Matthieu Lezaack (Université Catholique de Louvain, Institut de Mécanique, Matériaux et Génie Civil, IMAP)

Introduction

Alliages d'aluminium

L'aluminium et ses alliages suscitent l'intérêt de divers secteurs industriels tels que l'automobile, l'aérospatiale, la défense, les chemins de fer, et ce en raison de leurs propriétés exceptionnelles telles qu'une faible densité, une résistance spécifique élevée, une grande conductivité thermique et d'excellentes propriétés anticorrosion.

Les alliages d'aluminium pur ont de faibles propriétés mécaniques. C'est pourquoi l'aluminium est allié à des éléments tels que Cu, Mg, Mn, Zn et Li pour répondre aux exigences de l'industrie. Les alliages pouvant être traités thermiquement, tels que les séries 2xxx, 6xxx et 7xxx, acquièrent une plus grande résistance grâce au **durcissement par précipitation**, tandis que les autres alliages acquièrent une plus grande résistance grâce à la **déformation à froid**.

La littérature récente sur la fabrication additive par arc de fil (WAAM) des alliages d'aluminium mentionne principalement les séries 2xxx, 4xxx et 5xxx, en raison de la bonne soudabilité de ces matériaux. Les séries 6xxx et 7xxx font l'objet d'une littérature limitée.

Fabrication additive par arc électrique

Le WAAM est une technologie adaptée à la fabrication additive de composants en aluminium. Toutefois, les imperfections des soudures, telles que les fissures à la solidification, les porosités, les microstructures non uniformes, les contraintes résiduelles, la formation de couches d'oxyde et les déformations dues au processus WAAM (soudage), rendent la technologie plus difficile à mettre en œuvre.

Projet WAALU

Afin de fournir à l'industrie des informations sur le potentiel du procédé arc-fil, ou WAAM, pour la fabrication de pièces en aluminium à haute résistance, le projet WAALU évaluera la qualité mécanique (limite d'élasticité, résistance à la traction, allongement et, à un stade ultérieur, propriétés de fatigue) et métallurgique de divers matériaux fabriqués par WAAM, tels que les alliages d'aluminium 2xxx (ER 2219), 5xxx (ER 5183 - **Photo 1**) et 7xxx (ER 7075).



Photo 1: Pièces en aluminium dans l'alliage ER 5183 fabriquées par le WAAM, pour la recherche mécanique et métallurgique

Au cours des expériences autour du procédé WAAM, une caméra thermique a également été utilisée pour étudier le comportement de l'arc et du bain de fusion pendant le processus

WAAM. La **photo 2** montre la formation de points cathodiques (indiqués par la flèche rouge). Le phénomène observé, également connu sous le nom de nettoyage cathodique, brise et disperse la couche d'oxyde, ce qui permet au métal d'apport de se lier au substrat ou à la couche précédente.

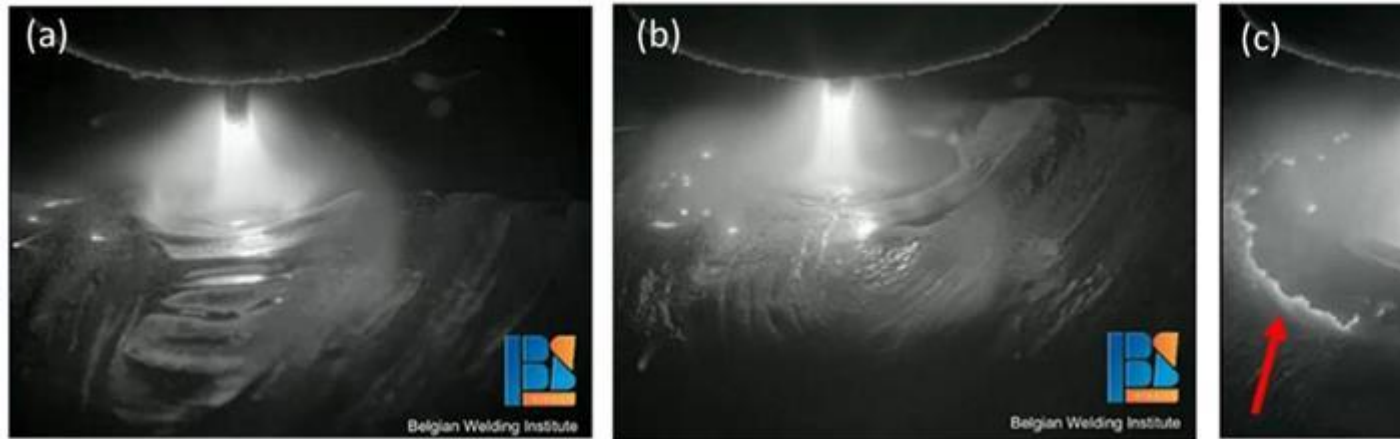


Photo 2: Utilisation d'une caméra thermique pour observer la formation de points cathodiques pendant le processus WAAM

En outre, l'effet des paramètres du procédé sur les propriétés finales des pièces fabriquées est également étudié. L'étude se concentre sur la qualité du métal d'apport en fonction de la rugosité de la surface et des impuretés, de l'apport de chaleur, du débit et du type de gaz de protection, de la température interpasses et de la stratégie de dépôt du procédé WAAM.

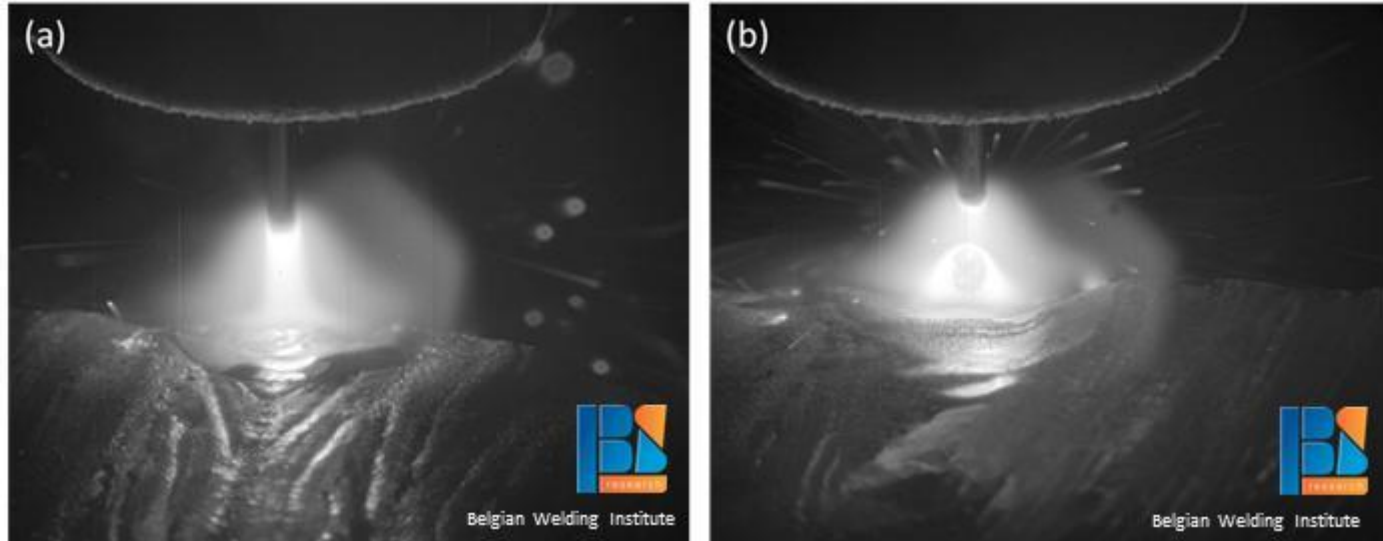


Photo 3: Utilisation d'une caméra thermique pour étudier l'influence de l'apport de chaleur sur la stabilité et la qualité. (a) Faible apport de chaleur; 0,17 kJ/mm et (b) apport de chaleur élevé; 0,67 kJ/mm

La **photo 3** illustre le processus WAAM des alliages d'aluminium avec deux niveaux différents d'apport de chaleur. La **photo 3a** montre une ligne de solidification claire au centre du bain de soudure, résultant en une possible fissuration à chaud. À des apports de chaleur plus élevés (**photo 3b**), ce phénomène n'est plus observé. Le même comportement est également observé dans les procédés de soudage à l'arc conventionnels avec la formation de fissures à chaud.

Résultats

Un aspect important observé au cours de l'étude a été la **bonne qualité de la surface et de l'impression lors de l'utilisation de la stratégie de dépôt par tissage**, par rapport à une stratégie de dépôt en ligne droite. Le dépôt par tissage consiste en un court mouvement transversal perpendiculaire à la direction du mouvement du robot de soudage. Ce mouvement peut être effectué selon différents modèles de tissage, chacun présentant des avantages et des inconvénients pour des applications spécifiques.

La **photo 4** illustre un exemple de murs fabriqués à l'aide d'un modèle de dépôt rectiligne (**photo 4a**) et d'un modèle de tissage (**photo 4b** et **photo 4c**).

Les propriétés obtenues avec le motif de dépôt par tissage sont principalement dues aux fines couches résultant du tissage. Grâce à ces couches minces, le risque de formation de défauts de collage entre les cordons de soudure est moindre. La couche précédente peut refondre, ce qui réduit encore le nombre de porosités dans une pièce.

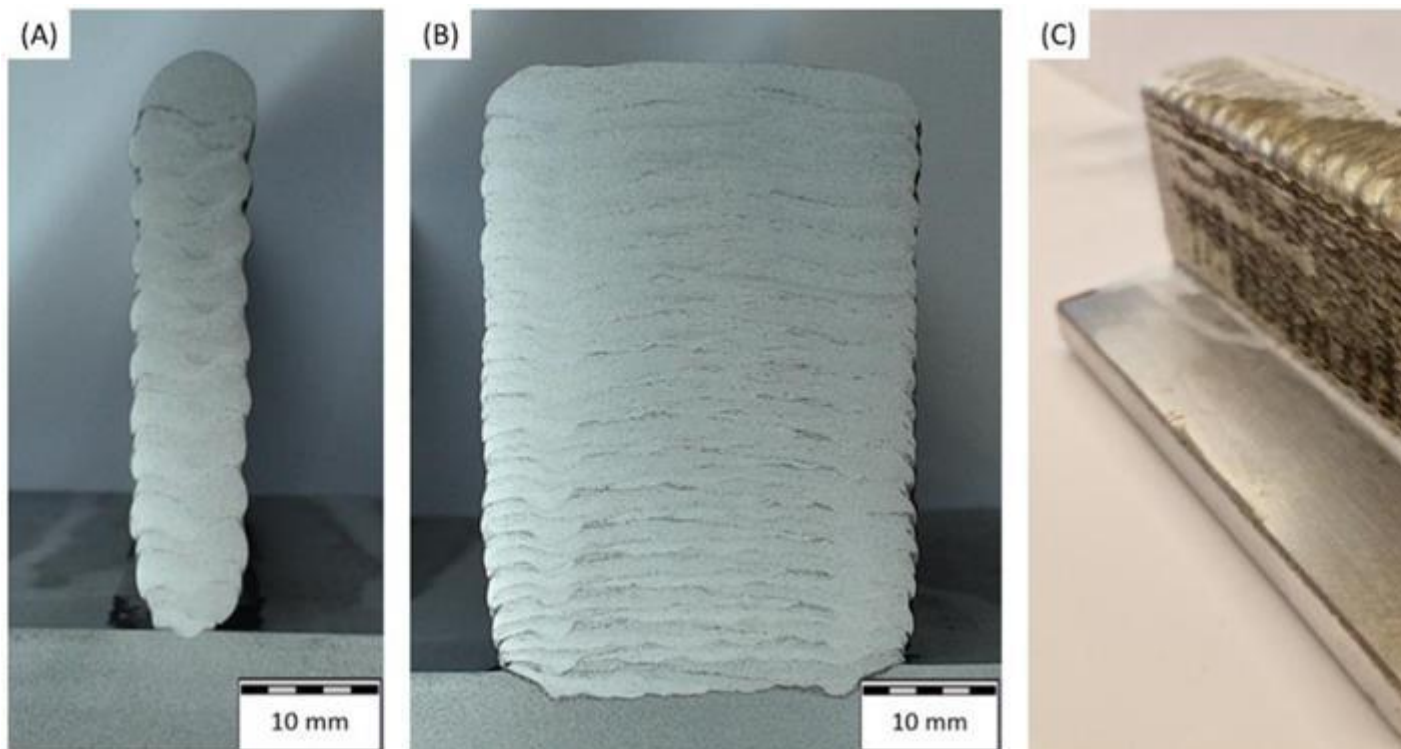


Photo 4: Mur en aluminium fabriqué avec un motif de dépôt rectiligne (A), un motif de dépôt par tissage (B), et vue latérale du mur fabriqué avec le motif de dépôt par tissage (C)

Outre la comparaison des alliages d'aluminium imprimés et des matériaux de base conventionnels, ainsi que l'utilisation des fiches techniques des matériaux additifs, le but ultime du projet est de produire une pièce de démonstration complexe avec le métal additif ER 7075.

Les tâches/objectifs spécifiques de l'Institut belge de technologie du soudage dans le cadre de ce projet sont les suivants:

1. Impression WAAM avec additifs: Aluminium 5183, 2219 (haute résistance) ainsi qu'un additif d'aluminium haute résistance 7075
2. L'impression WAAM sera réalisée avec: robot KUKA + Fronius CMT

3. Impression d'un modèle de démonstration (multiplié)
4. Traitement thermique et finition (de surface)



WAALU est un projet de recherche mené par l'Université Catholique de Louvain, l'Institut Belge de la Soudure et John Cockerill en tant que partenaire industriel. Le projet est financé par le SPW Recherche dans le cadre du contrat n° 2110124.

Vous pouvez télécharger gratuitement les autres lignes directrices et rapports de recherche relatifs au procédé WAAM à l'adresse suivante: <https://www.bil-ibs.be/publications>.