

Résumé en Français

Les procédés Direct Energy Deposition (DED) regroupent les procédés de fabrication additive qui, par un outil unique, déposent du métal sous forme de fil ou de poudre à l'aide d'une source d'énergie. Le TRL actuel est évalué dans ces travaux à 7. Une problématique industrielle est :

Quelle stratégie de production mettre en place pour les procédés DED afin d'améliorer leur TRL ?

Le projet ANR METALIC, dans lequel s'inscrit cette thèse, propose de répondre à cette problématique. Un état de l'art montre que la principale cause des défauts est une mauvaise gestion thermique des procédés. Une hypothèse majeure du manuscrit est : la maîtrise de l'état thermique permettrait de contrôler l'apparition des défauts pendant la fabrication en DED. Des stratégies sont identifiées pour maîtriser cet état thermique pendant la production, et la mise en place d'un asservissement de l'état thermique est retenue. La question de recherche du manuscrit est :

Comment asservir l'état thermique d'une pièce pendant une production DED dans le but de maîtriser la qualité de la pièce produite ?

Ces travaux abordent cette question dans le cadre suivant :

- Sur le procédé WAAM-CMT.
- Pour un alliage d'aluminium.
- En étudiant uniquement la déviation de la largeur du cordon.
- Pour la fabrication de murs fins.
- Dans un environnement pouvant être industriel.

Quatre sous-questions de recherche sont proposées :

Comment réaliser un asservissement pour les procédés DED ? Les éléments génériques composant la machine DED et les modules du logiciel d'asservissement sont définis. L'asservissement est implémenté sur un système réel WAAM-CMT. L'architecture logicielle proposée permet de supporter ces travaux de recherche en séparant le problème en sous-problèmes indépendants.

Comment monitorer l'état thermique des procédés DED ? L'état de l'art montre que l'état thermique peut être caractérisé par le rayonnement thermique NIR ou SWIR du bain de fusion en aluminium. Une caméra NIR est utilisée pour mesurer ce rayonnement. Les images sont corrélées à la variation de largeur du cordon de soudure. Une comparaison de différents traitements d'images est proposée et un, basé sur les réseaux de neurones, est retenu.

Comment piloter l'état thermique des pièces pendant une fabrication DED ? Par un état de l'art, un pilotage de l'apport d'énergie de l'outil DED est retenu pour piloter l'état thermique de la pièce. Un pilotage pour le procédé WAAM-CMT en alliage d'aluminium est proposé et son efficacité est démontrée. Les temps de réponse de ce pilotage et de la boucle de retour sont évalués de l'ordre de la seconde grâce à la réponse du système à un échelon. La fonction de transfert du

système, à partir de l'ordre envoyé au poste de soudure jusqu'à la prédiction de la largeur, est modélisée par un système linéaire du premier ordre.

Comment contrôler les procédés DED ? Un correcteur PID est retenu pour contrôler le procédé. Deux cylindres sont réalisés pour valider la proposition : l'un avec des paramètres de fabrication constants et l'autre avec le système d'asservissement proposé. Le système converge vers la consigne, il est stable et il est robuste. Les limites du système proviennent de la boucle de retour qui est basée sur un réseau de neurones. Le traitement d'images avec le réseau de neurones produit une mesure fidèle, mais qui n'est pas juste, en revanche, le traitement d'images conventionnel propose une mesure juste, mais il est peu fidèle.

Les apports majeurs de ces travaux de thèse sont :

- Une hypothèse basée sur l'état de l'art : la maîtrise de l'état thermique pendant la fabrication. DED permet de contrôler la qualité de fabrication.
- Une architecture d'asservissement pour les procédés DED.
- Un monitoring de l'état thermique pour la prédiction de la largeur du cordon de soudure.
- Un pilotage de l'état thermique du procédé.
- Une identification des limites du réseau de neurones.
- Un asservissement thermique du procédé WAAM-CMT en aluminium.