

# Formation Spécialisée MASTERE DMS Design des Matériaux et des Structures

## OFFRE DE SUJET MASTERE DMS 2022/2023

### Encadrement

---

Benoît Verquin (CETIM), Christophe Colin et Jean-Dominique Bartout (CDM – Mines Paris)

### Titre

---

#### Mise en œuvre du Molybdène par fusion laser sur lit de poudre

### Contexte

---

Le Cetim accompagne des sociétés dans le développement d'applications à partir de technologies de fabrication additive métallique et en particulier sur la fusion laser sur lit de poudre (L-PBF acronyme de Laser-Powder Bed Fusion).

La fusion laser sur lit de poudre est un procédé de fabrication permettant de réaliser des formes complexes souvent irréalisables par d'autres procédés, donnant la possibilité d'intégrer de multiples fonctions sur une même pièce.

Le molybdène pur (Mo) est un matériau réfractaire qui offre de nombreuses propriétés intéressantes : bonnes conductivités thermique et électrique, faible coefficient de frottement et d'expansion thermique, haut module d'élasticité, résistance aux chocs thermiques et à la corrosion. Le Mo pur ou faiblement allié (alliage TZM) est utilisé pour des applications à haute valeur ajoutée comme : connecteurs électroniques, pièces spatiales (parties chaudes), outillages pour la sidérurgie.

Le Mo pur fabriqué par L-PBF en parois fines pourrait amener à de nouvelles conceptions pour les secteurs cités ci-dessus. Cependant, sa mise en œuvre par fusion laser est délicate à cause de sa température de transition fragile-ductile au-dessus de la température ambiante (en anglais : brittle-to-ductile transition temperature, BDTT). Cette transition qui se traduit par un changement du mode de rupture inter/transgranulaire s'explique par une meilleure mobilité des dislocations à chaud qu'à froid permettant ainsi au matériau de se déformer plus facilement au-delà de cette température ductile-fragile. Bien souvent, on cherche à abaisser cette température afin que le matériau reste fonctionnel et soit fabricable par laser à des températures plus basses et si possible en dessous de l'ambiante. En général, on purifie le matériau afin d'éviter l'épinglage des dislocations sur des précipités (oxydes, carbures...). Dans le cas présent, l'ajout de rhénium rend le molybdène plus malléable même à des températures inférieures à la température ambiante.

L'objectif de ce stage mastère DMS sera d'identifier dans un premier temps les conditions de mise en œuvre du molybdène pur en minimisant la densité de fissures puis d'essayer dans un second temps une poudre de molybdène allié avec 5% en masse de rhénium (MoRe5). On s'intéressera plus particulièrement à la « fabricabilité » de pièces à parois fines.

### Objectif et travail proposé

---

Les objectifs sont :

- de définir le CDC de la poudre à mettre en œuvre et d'approvisionner les poudres utiles aux essais (Mo et MoRe5) ;
- d'analyser les poudres (analyse chimique, granulométrique, compacité, absorptivité,...) ;

- de proposer un plan d'essais ;
- de mettre en œuvre la poudre de Mo puis de MoRe5 sur la machine de fusion laser en définissant les paramètres et stratégies de fabrication adaptés ;
- d'analyser les échantillons fabriqués (micrographies MO et MEB, analyses chimiques, analyse cristallographique par DRX et EBSD, mesures des contraintes résiduelles par DRX, caractérisation mécanique (dureté, traction).

L'impact de la microstructure sur les propriétés mécaniques sera analysé pour déterminer les fenêtres optimales de traitement thermique de chacun des revêtements. Dans la mesure du possible un modèle empirique ou autre pourra être proposé pour prédire la taille des précipités gamma' en fonction des cycles thermiques appliqués.

### **Compétences et Profil recherché**

---

Capacité d'analyse et de synthèse, de la rigueur de l'autonomie et une grande force de proposition. De bonnes connaissances en matériaux et en mécanique et un goût prononcé pour le travail expérimental serait un atout.

**Nationalité française exigée**

### **Mots Clés :**

---

Poudres métalliques, fabrication additive, comportement mécanique, métallurgie des poudre