

## **La métallurgie des poudres au service du design de nouveaux aciers inoxydables : activation et mélange de poudres avant CIC**

L'élaboration de pièces métalliques par métallurgie des poudres représente un secteur en plein essor. L'amélioration des propriétés d'usage constitue un enjeu primordial pour de nombreux secteurs industriels (aéronautique, nucléaire...). Dans ce contexte, la compaction isostatique à chaud (CIC ou HIP en anglais pour hot isostatique pressing) représente un procédé d'élaboration et de mise en forme de pièces métalliques alternatifs aux procédés usuels (coulée, forgeage et usinage). Les avantages liés à ce procédé concernent :

- le matériau lui-même : les microstructures élaborées sont différentes de celles obtenues par d'autres procédés et sont, en particulier, très homogènes, avec des petits grains équiaxes, conduisant potentiellement à des propriétés mécaniques et d'usage améliorées ;
- la mise en forme : il est possible d'obtenir des pièces proches des cotes finales, y compris sur des formes complexes, ce qui permettrait de réduire les coûts d'usinage postérieur ;
- la possibilité d'élaborer des nouvelles nuances de matériaux.

L'étude proposée s'inscrit dans une volonté d'explorer les potentialités de la métallurgie des poudres afin d'obtenir des microstructures contrôlées et/ou des chimies inaccessibles par voie métallurgique classique. Le travail sera mené sur des aciers inoxydables en prenant comme référence un acier austénitique de type 316L. L'objectif de cette thèse est d'améliorer les propriétés de l'acier de référence, d'une part, par activation de la poudre avant frittage et, d'autre part, par modulation des phases dans une nouvelle nuance d'acier austéno-ferritique préparée par mélange de poudres.

Dans un premier temps, l'effet d'un broyage de la poudre sera testé, afin d'évaluer l'impact sur la microstructure finale et les propriétés mécaniques de l'acier austénitique fritté par CIC. Le broyage mécanique à haute énergie par une succession de fractures / soudures conduit à la formation d'agglomérats constitués de grains fins et défauts structuraux. Cet état dit « mécaniquement activé » permet de diminuer l'énergie d'activation du frittage et, ainsi, d'autoriser un frittage à plus basse température, ce qui pourrait permettre de limiter les évolutions microstructurales au cours du procédé de compaction en diminuant la température de maintien. D'autre part, un fort écrouissage initial est connu pour conduire à une faible taille de grains après recuit de recristallisation par multiplication des sites de germination. L'objectif est ici d'augmenter la résistance de l'acier en visant une taille de grains la plus petite possible et de pouvoir la contrôler. Les paramètres process (pression et temps de maintien) seront à optimiser afin de garantir la densification complète et éviter le grossissement de grains.

Dans un deuxième temps, l'élaboration d'une nuance d'acier « duplex » à partir de l'acier de référence sera réalisée directement par mélange de poudres avec un acier ferritique. L'objectif est ici de développer un nouveau matériau alliant ductilité et résistance mécanique et à la corrosion. L'avantage de ce type de procédé est la possibilité de contrôler simultanément les compositions et les fractions volumiques des deux phases, ce qui n'est pas possible par voie métallurgique classique dans les duplex. Cette étude permettra de poser les

bases de la compréhension nécessaire des phénomènes aux interfaces entre particules de deux matériaux différents cofrittés, pour à terme mettre en place une approche plus générale d' « alloy design » par effet composite à l'échelle de la centaine de microns.

Dans une optique de qualification du procédé CIC, des modèles de prédiction des microstructures finales seront à développer.

Moyens :

- plateforme CALHIPSO/EQUIPEX+ de l'ICB : broyeur, turbula, machines de frittage sous charge :

- SPS pour les études préliminaires et la détermination des paramètres process ;
- CIC pour la compaction, avec effets possibles d'un changement d'échelle (gradients de température).

- caractérisations chimiques et microstructurales de la poudre et du matériau fritté (analyse granulométrique, MO, MEB-EDX, DRX, EBSD) ;

- caractérisations mécaniques (dureté, traction, résilience) et de résistance à la corrosion.

Laboratoire : Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB) UMR-6303 (<https://icb.u-bourgogne.fr>)

Mots clés : poudre métallique, activation, mélange, CIC, microstructure contrôlée, alloy design

Compétences : chimie et physique des matériaux, métallurgie

Contacts :

Maria-Rosa Ardigo-Besnard [maria-rosa.ardigo-besnard@u-bourgogne.fr](mailto:maria-rosa.ardigo-besnard@u-bourgogne.fr) - 0380396016

Jean-Philippe Chateau-Cornu [jean-philippe.chateau-cornu@u-bourgogne.fr](mailto:jean-philippe.chateau-cornu@u-bourgogne.fr) - 0380396146