

# Mécanismes de brasage de la céramique $Ti_2AlC$ utilisant un alliage d'apport à base de nickel

Soutenance de thèse – Chengjie Lu  
**Vendredi 9 mars 2018 – 14h00**  
 Salle Contensou, site de Châtillon

## Devant le jury composé de :

M. Philippe Vermaut	Paris-Tech, UPMC	Examineur
M. Thierry Cabioch	Pprime, Univ. Poitiers	Rapporteur
M. Dominique Daloz	IJL, Univ. de Lorraine	Rapporteur
M. Thierry Ouisse	LMGP, PHEMA	Examineur
M. Pierre Sallot	SAFRAN Tech	Examineur
M. Gilles Hug	ONERA	Directeur de thèse

## Résumé

Dans ce travail, le brasage d'une céramique de composition  $Ti_2AlC$  sur un substrat de nickel a été réalisé avec succès à  $1000^\circ C$  avec des temps de maintien compris entre 15 et 30 min. Les mécanismes associés ont été mis en lumière en étudiant la microstructure des joints  $Ti_2AlC/Ni$  et en identifiant les phases formées pendant la brasure. De plus, le comportement des éléments composant la brasure (Ni, Cr et Si) vis à vis du substrat a été caractérisée avec l'aide de modélisations DFT. Les mécanismes associés à la décomposition de la phase  $Ti_2AlC$  contenant des lacunes et des éléments en substitution.

L'observation microscopique révèle une microstructure des joints  $Ti_2AlC/Ni$  en quatre couches. Une « zone de diffusion du Ni » composée des deux phases,  $Ti_2AlC$  et  $Ti_2AlC_{1-x}C[Ni]$ . Une « zone d'interaction » où se forment  $TiC_x$  et  $Ni_3(Al, Ti)$  par décomposition du substrat  $Ti_2AlC$ . À l'interface liquide-solide, une fine couche de TiB marque la position d'initiation du processus de solidification. Enfin, une « zone de brasure » est constituée des produits de solidification du liquide BNi-2 après réaction avec le substrat  $Ti_2AlC$ .

Cette microstructure en couches, permet de relâcher les contraintes thermiques et de conférer aux joints brasés  $Ti_2AlC/Ni$  une contrainte maximale en cisaillement de plus de 90 % de la résistance du substrat.

Les mécanismes de formation des défauts ponctuels ont été modélisés à partir des premiers principes. Dans ce travail, l'enthalpie de formation des lacunes de carbone ou d'aluminium été trouvée très inférieure à celle correspondant aux lacunes de titane et sont par conséquent beaucoup plus faciles à former. De plus, les propriétés de vibration des atomes dans  $Ti_2AlC$  comportant des bilacunes sur les sites Ti, Al ou C suggèrent que seules les bilacunes Ti déstabilisent la structure. En revanche, la concentration critique en lacunes Al ou C peut être très élevée, jusqu'à un tiers des atomes d'aluminium par couche A sans déstabiliser le cristal.

Dans un deuxième temps, les sites de substitution des atomes de Ni, Cr et Si dans  $Ti_2AlC$  ont été déterminés. On montre que le Ni se substitue préférentiellement à l'Al et induit sur le site A induit un défaut de charge qui a tendance à affaiblir les liaisons et déstabiliser le cristal. Le chrome forme une solution solide  $(Ti_{1-x}, Cr_x)AlC$  dans tout le domaine de concentration. Le silicium forme également une solution solide  $Ti_2(Al_{1-x}, Si_x)C$  dans tout le domaine de composition. Cependant, il est connu que la phase  $Ti_2SiC$  n'existe pas ce qui s'explique par l'énergie de Gibbs inférieure des phases en compétition.

## Mots clés

$Ti_2AlC$  ; phases MAX ; brasure ; modélisation ; DFT.