Metal/metal composites manufacturing under pressure

Ph. Vaillant, J. Petitet

► To cite this version:

Ph. Vaillant, J. Petitet. Metal/metal composites manufacturing under pressure. Journal de Physique IV Proceedings, 1993, 03 (C7), pp.C7-1853-C7-1856. 10.1051/jp4:19937296 . jpa-00251939

HAL Id: jpa-00251939

<https://hal.science/jpa-00251939>

Submitted on 1 Jan 1993

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Metal/metal composites manufacturing under pressure

Ph. VAILLANT and J.P. PETITET

Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux et des Hautes Pressions, CNRS, Institut Galilée, Av. J.B. Clément, 93430 Villetaneuse, France

ABSTRACT

The aim of this communication is to show, at local level, several rules of manufacturing metal / metal matrix composites by liquid route and determine processing parameters (pressure, temperature and time) in relation with the improvement of the part's mechanical properties. From laboratory experiments of insertion of low carbon steel samples in industrial aluminium alloys, several conclusions for any type of steel reinforced - aluminium matrix composite have been expected.

I. INTRODUCTION

L'élaboration par voie liquide (infiltration sous pression, forgeage liquide, insertion à la coulée...) de pièces composites à matrice métallique fait l'objet de l'attention du secteur automobile (1). Les pièces composites doivent satisfaire à plusieurs critères: maintien ou amélioration des propriétés par rapport à la pièce non renforcée, faible coût et cadence élevée de production. C'est le cas des pièces composites base aluminium - base fer élaborées par un procédé dérivé de la fonderie sous pression (2). L'aluminium réagissant fortement avec le fer, il est nécessaire de connaître et de maîtriser les interactions entre la matrice et le renfort dans les conditions les plus proches possibles du procédé. En effet, ce sont les produits de ces réactions qui assurent le transfert des efforts entre la matrice et le renfort.

Les interactions entre le fer ou un acier et l'aluminium ou un alliage d'aluminium liquide ont été abondamment étudié (1,2,3,4) en raison des applications industrielles nombreuses (aluminage, insertion à la coulée, corrosion des moules...). Cependant, il existe peu de données dans la littérature directement applicables aux procédés d'élaboration de pièces composites métal / métal en raison de la nature des matériaux étudiés, et des conditions expérimentales dans lesquelles sont réalisées ces études.

A partir d'une expérience de laboratoire d'immersion sous pression hydrostatique d'un barreau d'acier dans des échantillons d'alliages industriels d'aluminium, un certain nombre de règles ont été définies. Elles ont un caractère de généralité pour n'importe quel type d'assemblage mettant en présence un renfort solide base fer et un métal liquide base aluminium sous moyenne pression.

II. DISPOSITIF ET METHODE EXPERIMENTAL

Les expériences ont été réalisées dans un dispositif expérimental original d'immersion sous pression. L'intérêt de ce dispositif est de pouvoir mettre en contact au moment désiré, les matériaux solide et liquide jusqu'à une température maximale de 800°C dans une gamme de pression hydrostatique de 0.1 à 400 MPa. Des fenêtres en saphir permettent la visualisation de l'immersion. Un thermocouple de mesure placé dans la zone de contact entre les métaux permet de suivre l'évolution de la température au coeur de la réaction.

L'action d'un insert en acier sur des alliages commerciaux (Al-Cu et Al-Si) et dans de l'aluminium pur a été effectuée. Diverses situations de temps, de température et de pression, ont été analysées afin de couvrir un domaine suffisamment large pour définir les paramètres pertinents du procédé. L'influence des éléments d'alliages des matrices et des inserts est mise en évidence par l'étude des couples Aluminium/Fer, Aluminium/Acier, Al-Cu/Fer, et Al-Si/Fer. La surface des inserts est rectifiée. Les échantillons sont décapés mécaniquement, dégraissés dans de l'acétone, passés aux ultrasons puis séchés avant chaque expérimentation. L'insert est immergé à vitesse et profondeur constante dans la matrice liquide pendant le temps nécessaire. Le refroidissement et la solidification de l'échantillon s'effectuent sous pression.

Les échantillons obtenus ont été observés par microscopie électronique et analysés par E.D.S. et W.D.S.. Certains échantillons ont été traités thermiquement, d'autres ont été testés mécaniquement: microdureté, pullout en traction simple.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

III.1 Couples Aluminium pur, Al-Cu / Fer pur, acier

L'immersion d'un insert en fer ou en acier dans une matrice d'aluminium (700°C) ou dans un alliage commercial Al-Cu (650 et 750°C) conduit à la formation d'une zone réactionnelle continue entre l'insert et la matrice. Elle est constituée de deux composés intermétalliques: du côté de l'insert η Fe₂Al₅ (faciès en languettes dirigées vers l'insert) et θ FeAl₃ du côté de la matrice (3). Le faciès en languettes du composé η Fe₂Al₅ est dû à une anisotropie de diffusion de l'aluminium dans η Fe₂Al₅ liée à la structure de ce composé (4). La pression n'affecte pas la nature des composés intermétalliques de la zone réactionnelle. Les photos ci-dessous (M.E.B. - rétrodiffusés) sont obtenues à partir d'échantillons immergés dans des conditions identiques (700°C-120 sec-150 MPa).

Acier / Alliage commercial Al - Cu

Acier / Aluminium pur

Dans le cas d'un alliage commercial Al-Cu, si l'immersion est effectuée dans l'intervalle de solidification, le composé β Cu₂FeAl₇ se forme à la place du composé θ FeAl₃ (5). Le même phénomène est constaté lors d'un traitement thermique classique.

Les variations de l'épaisseur moyenne de la zone réactionnelle en fonction de la racine carré du temps sont reportées dans la figure n°1. L'épaisseur du composé η Fe₂Al₅ augmente avec le temps tandis

que celle du composé θ FeAl_3 est constante et est estimée à 5 μm . La présence d'éléments d'alliage aussi bien dans l'insert que dans la matrice diminue fortement la cinétique de croissance de la zone réactionnelle. La pression n'affecte pas la cinétique de croissance de la zone réactionnelle.

L'application d'une pression de 50 MPa permet d'éliminer la porosité dans la zone réactionnelle du côté de l'insert et la zone de décohésion dans la matrice. Cette porosité n'est pas une porosité de type Kirkendall car elle est située principalement du côté de l'acier. Elle est due aux contraintes qui apparaissent dans la zone réactionnelle lors du refroidissement. La meilleure tenue mécanique est obtenue avec des échantillons immergés sous pression. Dans ce cas, l'insert se rompt en dehors de la matrice sans qu'il y ait arrachement. Si l'insert est oxydé avant immersion, l'interface est faible; si il ne l'est pas, et que l'immersion est faite sous pression, l'interface est forte. La microdureté Vickers du composé η Fe_2Al_5 est voisine de 1000.

III.2 Couples Al-Si / acier

L'immersion d'un insert en acier dans un alliage commercial Al-Si conduit à la formation d'une zone réactionnelle pas toujours continue entre l'insert et la matrice. Sous pression, elle est constituée de deux composés intermétalliques: θ $\text{FeAl}(\text{Si})$ du côté de l'insert et α FeAlSi du côté de la matrice, et de trois composés intermétalliques quand l'immersion est faite à pression atmosphérique (6). Le composé β AlFeSi apparaissant entre les deux autres. La pression n'affecte pas l'épaisseur de la zone réactionnelle. Les photos ci-dessous (M.E.B. - rétrodiffusés) sont obtenues à partir d'échantillons immergés à 700°C pendant 120 sec à pression atmosphérique (gauche) et à 300 MPa (droite).

Acier / Alliage commercial Al - Si

Acier / Alliage commercial Al - Si

Pour une pression d'immersion de 300 MPa, une ségrégation du silicium est constatée entre la matrice et la zone réactionnelle. Pour des temps d'immersion longs, il apparaît des précipités riches en silicium dans le composé θ $\text{FeAl}(\text{Si})$ et la dissolution de la zone réactionnelle est importante. Un traitement thermique classique ne modifie pas la nature des composés intermétalliques de la zone réactionnelle. Ces résultats sont difficilement applicables à un autre couple alliage commercial Al - Si / acier, car la nature des interactions dépend fortement du rapport Fe/Si et des éléments d'alliages (7).

Dans le cas du couple Al-Si / acier, il n'apparaît pas de porosité dans la zone réactionnelle. La meilleure tenue mécanique est obtenue avec des échantillons immergés sous pression. Ce gain est dû à l'élimination par la pression de la zone de décohésion dans la matrice.

IV. CONCLUSION

Dans les conditions expérimentales de cette étude, l'immersion à 650 et 750°C d'un insert en acier dans un alliage commercial Al-Cu sous une pression de 50 MPa conduit à la formation d'une zone réactionnelle suffisante pour conférer de bonnes propriétés mécaniques à l'assemblage. L'application d'une pression supérieure à 50 MPa n'aura d'effet que sur la qualité de la matrice. Si l'immersion est réalisée à 590°C dans l'intervalle de solidification, la formation d'un composé intermétallique riche en cuivre dans la zone réactionnelle est constatée. Ceci entraîne un affaiblissement de la matrice. Le même phénomène est mis en évidence lors d'un traitement thermique classique.

L'immersion à 600 et 700°C d'un insert en acier dans un alliage commercial Al-Si pendant un temps caractéristique de 18 sec ne conduit pas à la formation d'une zone réactionnelle continue entre l'insert et la matrice. L'utilisation de ce type d'alliage sera plutôt adaptée au procédé d'agrafage. Malgré tout, il peut être possible de contourner ce problème en s'inspirant du procédé Al-Fin (8). Le but étant d'arriver à la formation du composé η Fe₂Al₅ dans la zone réactionnelle.

Ces résultats ont été obtenus dans des conditions de laboratoire. Il est nécessaire de prendre en compte certaines contraintes imposées par le procédé industriel: effets hydrodynamique du métal liquide, application de la pression par un piston, échanges thermiques entre la pièce, le poteyage et le moule.

Remerciements: Ces travaux ont été réalisés dans le cadre d'une convention de recherche entre le C.N.R.S. et la société RENAULT.

REFERENCES

- (1) Ambroise M.H., Barbier F., Proc of the ICCM/8, Ed: Tsai W., 18 J, (1991).
- (2) Bhagat R.H., Composites, 393-399, (1988).
- (3) Eggeler G., Auer W., Kaesche H., Z Metallkde, 77, n°4, 239-244, (1986).
- (4) Heumann Th., Dittrich S., Z.Metallkde, 50, 617-625, (1959).
- (5) Bennett D.A., Kirkwood D.H., Metal Science, 18, 17 - 21, (1984).
- (6) Stefaniay V., Griger A., Turmezey T., J. Mat. Sci, 22, 331 - 336, (1987).
- (7) Langsrud L., Key Engineering Materials, 44 & 45, 95-115, Ed: Kovacs I., (1989).
- (8) Gürtler G., Aluminium, 368-373, (1969).

Figure n°1: variation de l'épaisseur moyenne de la zone réactionnelle en fonction de la racine carré du temps; la température d'immersion étant de 700°C et la pression de 150 MPa.