

INTERFACES EM MATERIAL COMPÓSITO PRODUZIDO POR INFILTRAÇÃO METÁLICA LÍQUIDA

JESUALDO LUIZ ROSSI

IPEN-CNEN/SP, Caixa Postal 11049, CEP 05422-970, São Paulo

INTRODUÇÃO

As propriedades de materiais compósitos reforçados com fibras contínuas são grandemente dependentes da natureza da interface matriz/fibra. Esta interface é definida como uma região na qual a composição química muda significativamente constituindo uma ligação entre a matriz e o reforço^[1]. A função primária da interface é transferir a carga entre a fibra e a matriz. Esta interface precisa também ser estável durante a vida do material e isto constitui seu requisito físico-químico. Portanto, qualquer reação na região da interface pode levar a propriedades mecânicas distintas.

O objetivo deste artigo é o de se descrever os tipos de interface presentes em um material compósito produzido por infiltração metálica líquida. Apresenta-se também uma correlação entre algumas propriedades mecânicas e interfaces. A matriz usada para infiltrar a fibras foi uma liga de alumínio-silício de composição similar à liga ASM A356.2. As fibras eram de boro, diâmetro de 0,142 mm, com um recobrimento de 2 μm de SiC. Este recobrimento de SiC serve de proteção ao boro contra a reação com o alumínio líquido.

METODOLOGIA

As amostras para a observação no microscópio eletrônico de transmissão (MET) foram preparadas pelo trepanamento por eletroerosão de discos na direção transversal do material, i.e., na direção paralela às fibras. Estes discos foram mecanicamente cortados com uma espessura de 1 mm. Após o desbastamento mecânico destes discos até uma espessura aproximada de 300 μm , estes foram escavados até atingir uma espessura central de 30 μm e subsequentemente afinados por feixe de íons até perfuração.

As interfaces foram observadas em um microscópio eletrônico de transmissão a 120 kV. As amostras foram examinadas em um estágio de dupla inclinação com suportes de berílio. A análise química das fases presentes foi feita por espectroscopia de energia dispersiva (EDS), com o microscópio de transmissão operando em modo de nanosonda. As análises quantitativas foram obtidas pela técnica das razões com correção devido a fluorescência e com fatores K previamente obtidos^[2,3]

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos por microscopia eletrônica de transmissão mostraram que as interfaces entre o revestimento de SiC e a liga de alumínio consistiram de quatro tipos principais. O primeiro tipo pode ser descrito como um produto de contacto entre o SiC e a liga de alumínio. Esta interface é passível de reação, produzindo carbonetos de alumínio que crescem a partir do SiC em direção a matriz. O segundo tipo de interface consistiu de SiC com as plaquetas macladas de silício livre. O terceiro tipo de interface ocorreu entre o SiC e partículas de segunda fase. Finalmente o quarto tipo de interface correspondeu a uma camada de material proveniente do processo de infiltração envolvendo parte das fibras.

De acôrdo com a literatura^[4-6] não há evidências de reações entre a liga de alumínio e o revestimento de SiC, independentemente do processo de fabricação, inclusive a infiltração metálica líquida. A interface neste caso pode ser considerada como um puro ajuste mecânico entre a fibra e o alumínio. A Fig. 1 mostra uma micrografia de MET da interface SiC/alumínio. Produtos de reação não foram observados mesmo após um cuidadoso exame da região. O perfil serrilhado da interface não é um produto de reação entre o SiC e o alumínio. Ele deve-se apenas à rugosidade superficial do revestimento, com o alumínio seguindo todos os detalhes de relêvo da superfície de SiC.

Neste trabalho, a presença de carbonetos de alumínio foi observada em algumas regiões da interface matriz/fibra, Fig. 2. Esta interface, pode ser consequência da reação entre o SiC e o alumínio líquido ou alternativamente entre carbono livre presente no revestimento e o alumínio fundido. Esta reação produziu algumas partículas em forma de agulha as quais cresceram a partir do revestimento de SiC em direção a matriz de alumínio. A observação de uma destas partículas em alta resolução e propriamente orientada, mostrou franjas com espaçamento interplanar de 0,83 nm. Este valor está de acôrdo com o parâmetro dado pelo cartão número 35-799 do 'JCPDS' para o carboneto Al_4C_3 nas direções (003). A análise química destas partículas não revelou diferenças qualitativas entre elas e a matriz adjacente. Deve ser mencionado que o microscópio eletrônico de transmissão utilizado não estava equipado com um detector apropriado para elementos leves, e seria desejável a detecção de carbono. Os espectros de energia dispersiva das partículas e da matriz mostraram a presença principalmente de Al, sendo também detectados Ar, Fe e Ta. A presença de Ar e de Ta foi causada por contaminação no feixe de íons. O argônio foi o gás utilizado no canhão de íons e o suporte da amostra foi de tântalo. A presença de ferro foi provavelmente devido a contaminação por fiação deste elemento que é encontrado em abundância em alguns intermetálicos presentes na matriz.

O segundo tipo de interface consistiu de SiC e silício livre na forma de plaquetas macladas. O terceiro tipo de interface ocorreu entre o SiC e partículas intermetálicas. Como no caso do alumínio, estas partículas parecem seguir os relêvos superficiais das fibras. Não se observou nenhum tipo de reação ou formação de compostos entre partículas intermetálicas e o SiC. As partículas de segunda fase, em contacto com o SiC, consistiram essencialmente de monocristais grandes em oposição aos subgrãos finos de SiC indicando uma falta de epitaxialidade. Isto também pode ser uma evidência que algumas destas fases são formadas no final do processo de solidificação da matriz, i.e., a última matriz a se solidificar ocorre na superfície das fibras.

O quarto tipo de interface pode ser descrito como uma camada amorfa. Padrões de difração em área selecionada produziram anéis muito difusos. Os espaçamentos interplanares destes anéis coincidiram com os produzidos por carbono grafítico com espaçamento $a = 2,46$ nm e $c = 6,70$ nm. A análise por espectroscopia de energia dispersiva destas regiões revelou a presença de Al, Si, Fe, Na, Mg, P, S, Cl, P e Ca. Esta camada pode ser devido a escória retida entre as fibras ou à algum tipo de contaminação na superfície das fibras.

CONCLUSÕES

A interface produzida por infiltração metálica líquida de alumínio em fibras de boro recobertas com SiC, consistiu basicamente de uma ligação mecânica com ausência geral de reações. Esta interface pode ser considerada fraca e portanto pode aumentar a tenacidade a fratura do material, uma vez que trincas podem ser defletidas naquela região. Por outro lado, uma interface fraca pode levar a propriedades muito inferiores quando o material compósito é solicitado fora do eixo das fibras.

REFERÊNCIAS

- [1] METCALFE, A. G. Introduction and review. In: METCALFE, A. G. ed. *Interfaces in Metal Matrix Composites*. Vol. 1, Academic, 1974. 1-30.
- [2] CLIFF, G. & LORIMER, G. W. The quantitative analysis of thin specimens. J. Microscopy, Mar 1975, 103:203-7.
- [3] MEHTA, S.; GOLDSTEIN, J. I.; WILLIAMS, D. B.; ROMIG Jr., A.D. Determination of Cliff-Lorimer k calibration factors for thin-foil X-ray microanalysis of Na, Mg, and Al in the STEM. In: NEWBURY, D. E., ed. *Microbeam Analysis*. San Francisco Press, San Francisco, 1979. 119-23.
- [4] METCALFE, A. G. Introduction and review. In: METCALFE, A. G. ed. *Interfaces in Metal Matrix Composites*. Vol. 1, Academic, 1974. 1-30.
- [5] PREWO, K. M. & McCARTHY, G. Interfacial characteristics of silicon carbide-coated boron-reinforced aluminium matrix composites. J. Mat. Sci., 1972, 7: 919-28.
- [6] SAGEESE, M. E; SCOTT, V. D.; TRUMPER, R. L. Characterization of interfaces in Al-Zn-Mg alloy reinforced with Sicabo fibres. Mat. Sci. and Tech. Oct 1988, 4:871-5.

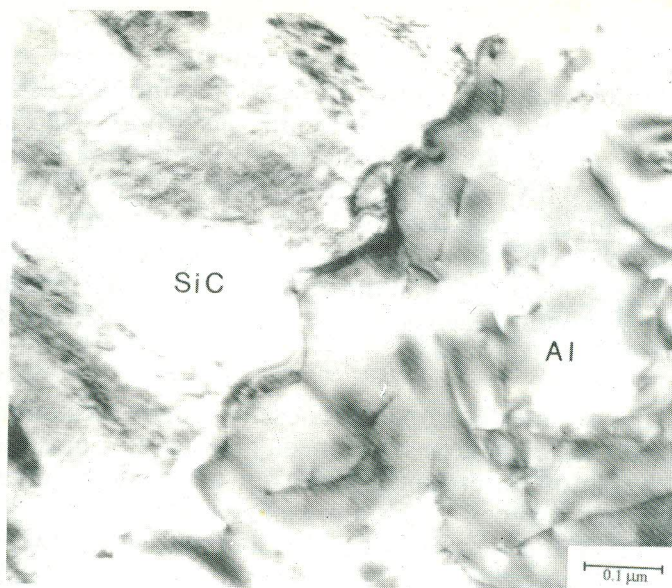


Fig.1 Micrografia eletrônica de transmissão da interface SiC/alumínio. Esta micrografia mostra o recobrimento de SiC e a matriz de alumínio com discordâncias em contraste. B_{Al} [011].

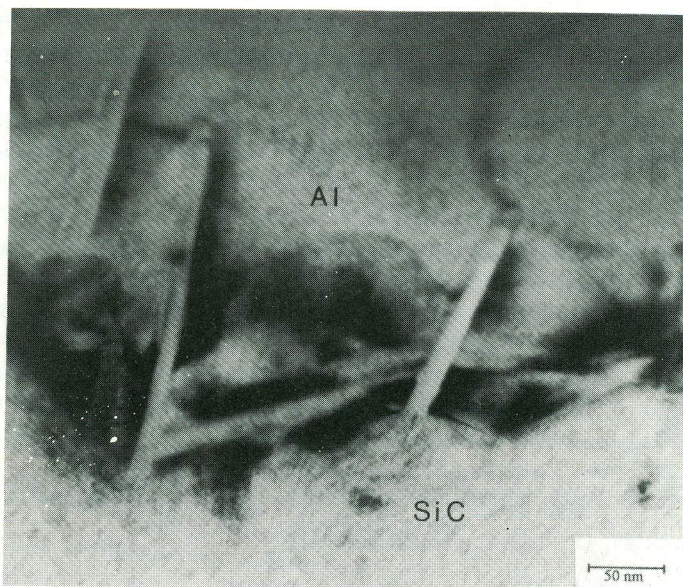


Fig.62 Micrografia eletrônica de transmissão mostrando as agulhas de produto de reação entre o SiC e o alumínio.