cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Limiar de percolação elétrica em compósitos densos ZrO_2–Ti_2AlC

T. Herzmann[1,2]; M. Fredel[2]; T. Fey[1]; E. Wolf[1]; D. Hotza[2]

[1] Department of Materials Science (Glass and Ceramics), FAU Erlangen-Nürnberg, Alemanha.
[2] Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, UFSC, Florianópolis, Brasil.

Introdução

A combinação da ZrO_2, eletricamente isolante à temperatura ambiente, com a fase MAX condutora Ti_2AlC (1, 2) permite modificar a resposta elétrica do compósito. Além do teor adicionado, a distribuição do constituinte condutor e sua conectividade influenciam a formação de caminhos elétricos. A transição associada à percolação pode ocorrer em uma faixa estreita de composição (3).

Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo relacionar a composição, a microestrutura e a resistividade de compósitos densos ZrO_2–Ti_2AlC e identificar o intervalo experimental de transição associado ao início da percolação elétrica.

Metodologia

Foram avaliadas nove composições na faixa de 0–35,9 vol% de Ti_2AlC, com dez corpos de prova cada. Os pós de Ti_2AlC e de ZrO_2 estabilizada com 3 mol% de Y_2O_3 foram dosados roboticamente, misturados por 24 h, compactados a 53 MPa por 60 s e sinterizados (*pressureless sintering*) a 1500 °C por 2 h em argônio, com pó sacrificial de Ti_2AlC. Densidade e porosidade foram medidas pelo método de Arquimedes (ISO 18754), e a microestrutura, analisada por MEV/BSE. A resistividade volumétrica foi medida à temperatura ambiente com Keithley 6517B + 8009 (ASTM D257).

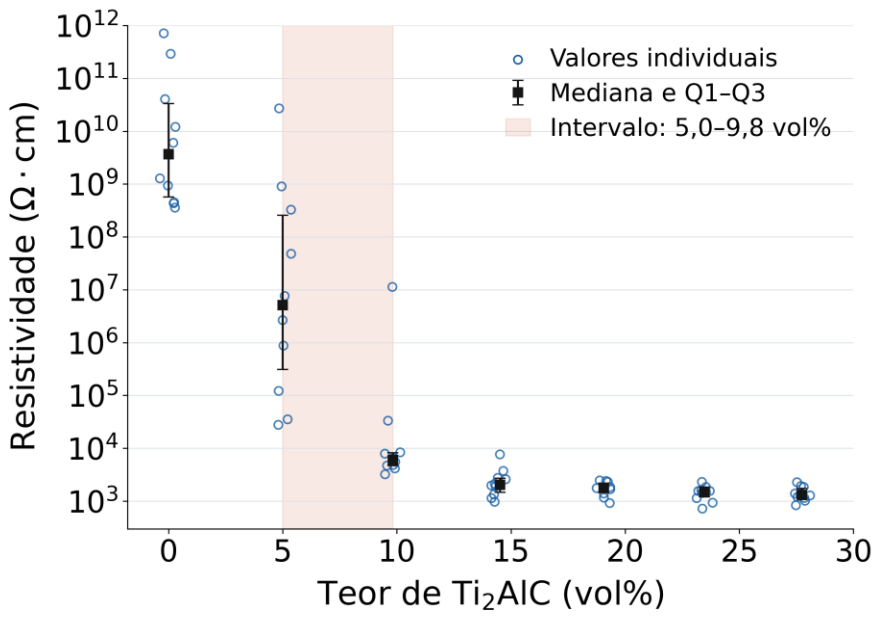
Conclusões

Os resultados indicam uma transição elétrica entre 5,0 e 9,8 vol% de Ti_2AlC, compatível com o início da percolação elétrica. Até 9,8 vol%, a resistividade apresentou uma redução de aproximadamente 5,8 ordens de grandeza em relação à ZrO_2, enquanto a densidade relativa média aumentou de 94,4% para 96,8%. A distribuição preferencial do constituinte rico em Ti_2AlC entre os grânulos de ZrO_2 é compatível com a formação de caminhos condutores em baixos teores.

Referências

1. BARSOUM, M. W. *MAX phases: properties of machinable ternary carbides and nitrides*. Weinheim: Wiley-VCH, 2013.
2. HETTINGER, J. D. et al. Electrical transport, thermal transport, and elastic properties of M_2AlC (M = Ti, Cr, Nb, and V). *Physical Review B*, v. 72, n. 11, art. 115120, 2005. DOI: 10.1103/PhysRevB.72.115120.
3. NAN, C.-W.; SHEN, Y.; MA, J. Physical properties of composites near percolation. *Annual Review of Materials Research*, v. 40, p. 131–151, 2010. DOI: 10.1146/annurev-matsci-070909-104529.

Resultados e Discussão



Pontos: n = 10/composição; barras: Q1–Q3.

Figura 1. Resistividade em função do teor de Ti_2AlC (até 27,6 vol%).

A mediana da resistividade diminuiu de $3{,}65 \times 10^9$ Ω·cm na ZrO_2 para $5{,}13 \times 10^6$ Ω·cm em 5,0 vol% e $6{,}02 \times 10^3$ Ω·cm em 9,8 vol% de Ti_2AlC, uma redução de aproximadamente 5,8 ordens de grandeza. Em 5,0 vol%, os valores abrangeram seis ordens de grandeza, enquanto o intervalo interquartil se estreitou em 9,8 vol%. Na faixa de composições avaliada, as amostras apresentaram elevada densidade relativa e baixa porosidade aparente, cujas médias variaram de 94,4 a 97,2% e de 0,2 a 1,1%, respectivamente.

Evolução microestrutural

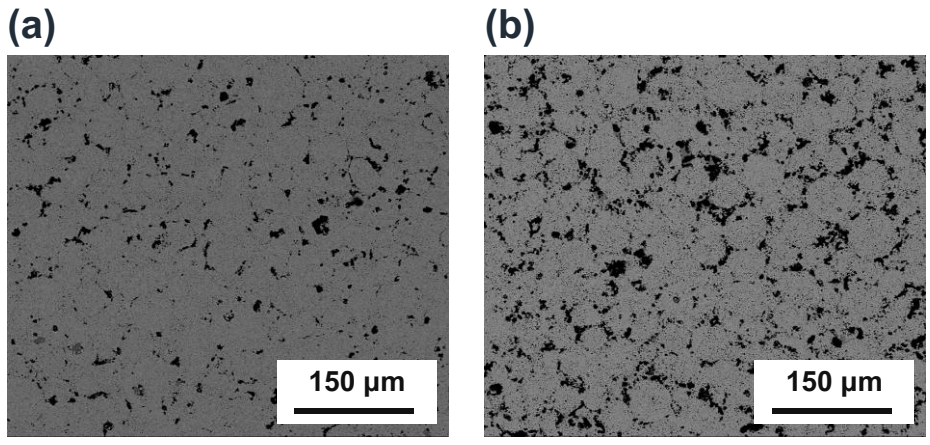


Figura 2. Micrografias MEV/BSE dos compósitos com (a) 5,0 e (b) 9,8 vol% de Ti_2AlC.

O constituinte rico em Ti_2AlC ocupa preferencialmente as regiões entre os grânulos de ZrO_2. Essa distribuição pode favorecer caminhos condutores em baixos teores, coerentemente com a transição elétrica observada.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.
Agradecemos também ao Governo de Santa Catarina, por meio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), pelo apoio financeiro.