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

Caracterização mecânica de compósitos Al2O3-L5.1 obtidos por metalurgia do pó para aplicações de elevada dureza

Odirlei Amaro Ferreira[1]; Thomaz Augusto Guisard Restivo[1]
[1]Universidade de Sorocaba - Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais (PPGPTA/UNISO)

Introdução

A busca por materiais com elevada dureza, resistência ao desgaste e custo competitivo tem impulsionado o desenvolvimento de novos compósitos cerâmica-metal para aplicações industriais severas. Neste contexto, este trabalho apresenta cermets à base de alumina (Al2O3) e liga metálica multicomponente ultradura L5.1 (AlCrFe3MoNbTiV), com potencial para substituir parcialmente materiais convencionais como WC-Co. A proposta combina a elevada dureza da matriz cerâmica com o desempenho mecânico da liga metálica, visando obter um material com propriedades superiores e viabilidade técnico-econômica.

Objetivos

Objetivo geral: desenvolver e caracterizar cermets Al2O3-L5.1 obtidos por metalurgia do pó para aplicações de elevada dureza.

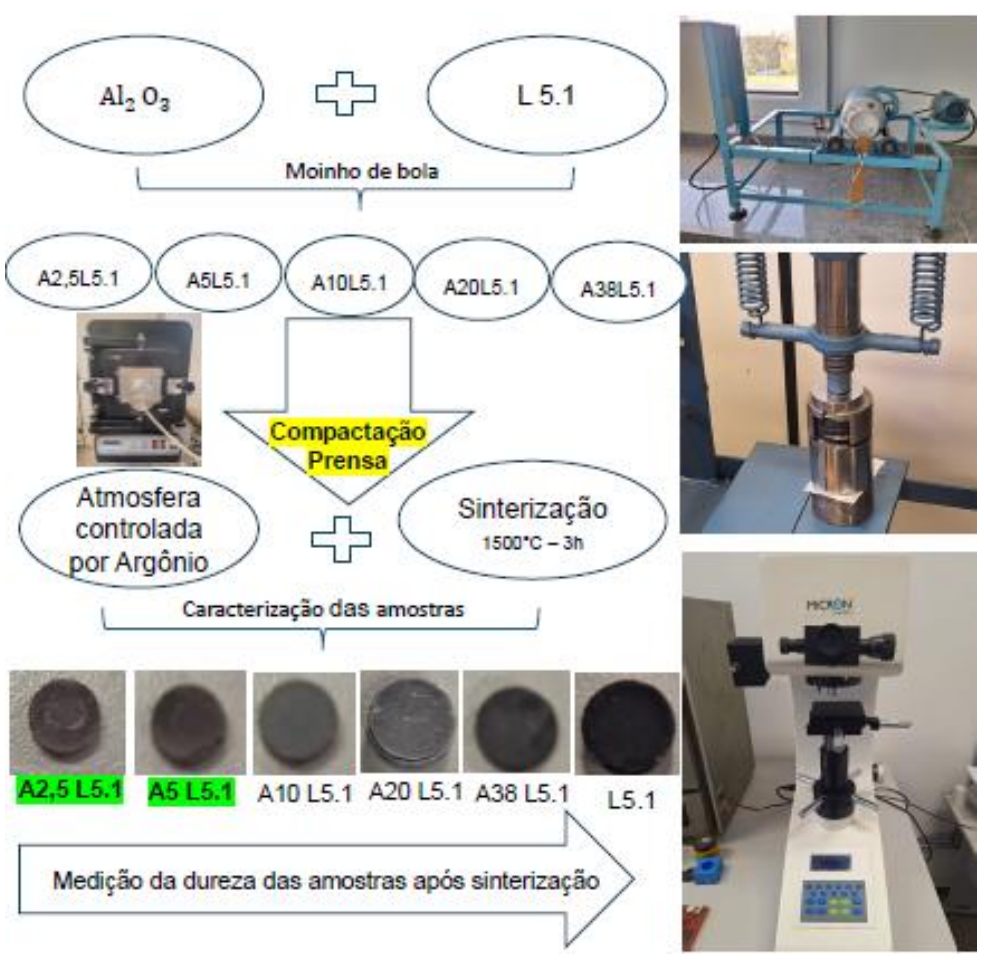
- Avaliar a influência do teor de L5.1 na densificação e na microdureza Vickers.
- Correlacionar composição, porosidade residual, microestrutura e propriedades mecânicas.
- Comparar o potencial dos compósitos com cermets comerciais WC-Co.
- Identificar composições promissoras para desgaste severo, ferramentas, matrizes e componentes metal-mecânicos.
- Desenvolver de um novo compósito cermet que alie dois dos materiais de maior dureza existentes: alumina e ligas multi-elementares ultra-duras. As propriedades almejadas são: dureza acima de 1500 kgf/mm² e boa tenacidade, e densidade além de 92% DT (em relação à densidade teórica do material)

Metodologia

Foram preparadas composições com 2,5%; 5%; 10%; 20% e 38% de L5.1 por metalurgia do pó: pesagem, mistura, moagem, peneiramento em 125 um, compactação e sinterização entre 1350 °C e 1450 °C.

A caracterização contemplou massa e dimensões, densidade relativa, microdureza Vickers, dilatometria, MEV/EDS e DRX, correlacionando composição, microestrutura e desempenho.

Figura 1. Fluxograma da metodologia

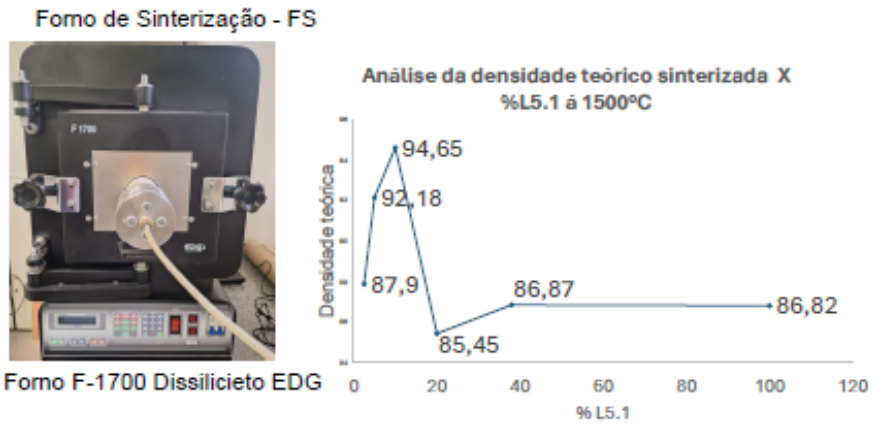


Resultados e Discussão

Os resultados mostraram melhor desempenho nas composições com menores teores de L5.1. A2,5L5.1 apresentou dureza superior a 2118 HV e densidade relativa de até 88,47%DT. A5L5.1 atingiu 1545,3 HV e até 85,82%DT; A10L5.1 atingiu 1316,7 HV e até 88,75%DT; A20L5.1 atingiu 1185,6 HV.

A redução da dureza nas formulações com maior teor metálico está associada à maior participação da fase L5.1 e à porosidade residual. MEV/EDS indicou partículas metálicas distribuídas na matriz de alumina, continuidade interfacial e interação entre os constituintes.

Figura 2. Forno para sinterização e análise de densidade teórico sinterizada



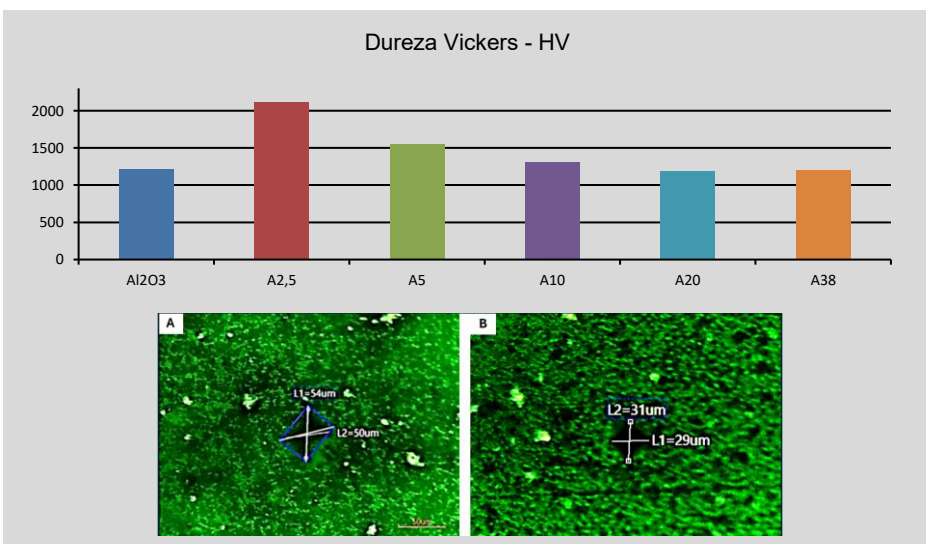
% Densidade teórica sinterizada

1- Densidade da Alumina(Al_2O_3): $d\ Al_2O_3$ ($3{,}98\frac{g}{cm^3}$);
2 - Densidade da liga(L5.1): L5.1($7{,}166\frac{g}{cm^3}$);
3 -Densidade teórica (Dt):100/((% da liga/ $d\ Al_2O_3$)+(100 - % da liga / densidade da liga));
4 - Densidade da liga(L5.1) sinterizada(Ds): massa sinterizada da liga/volume sinterizado da liga;
5 - % Densidade Sinterizada : Dt/Ds x 100.

Tabela de análise de densidade sinterizada

Amostra	T (°C)	Densidade Teórica	Densidade Sinterizada	% Densidade Sinterizada	Dureza (HV)
A2,5 L5.1	1500	4,070	3,5779	87,90	2018,4
A5 L5.1	1500	4,070	3,7529	92,19	2097,5
A10 L5.1	1500	4,016	3,811	94,65	938,3
A20 L5.1	1500	4,368	3,7329	85,45	1058,4
A38 L5.1	1500	4,789	4,1605	86,87	1581
L5.1	1500	5,0133	6,2221	86,82	900

Figura 3. Microdureza Vickers e microestrutura dos cermets Al2O3-L5.1.



Destaque: A2,5L5.1 supera WC-3Co (1900 HV) e A5L5.1 aproxima-se de WC-10Co (1625 HV), mantendo menor dependência de W e Co.

Conclusões

Os compósitos Al2O3-L5.1 foram processados com sucesso por metalurgia do pó e sinterização em atmosfera controlada.

A2,5L5.1 foi a composição de maior desempenho, superando 2118 HV e mantendo densidade relativa próxima/superior a 85%DT.

A5L5.1 também apresentou rota promissora, com dureza elevada e potencial técnico frente a sistemas WC-Co.

O aumento do teor metálico reduziu a dureza global, porém pode ampliar funcionalidades associadas à fase condutiva e ao limite de percolação.

O sistema Al2O3-L5.1 é uma alternativa tecnológica para componentes submetidos a desgaste intenso.

Referências e Agradecimentos

FERREIRA, O. A. Desenvolvimento de compósito cerâmica-metal de elevada dureza. Tese (Doutorado) - Universidade de Sorocaba, 2025. RESTIVO, T. A. G.; RESTIVO, G. M. G. Development of ultra-hard multi-component alloys. Journal of Materials Research, v.36, p.1316-1327, 2021. GARCÍA, J. et al. Cemented carbide microstructures: a review. Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials, v.80, p.40-68, 2019. ZHENGUI, Y.; STIGLICH, J. J.; SUDARSHAN, T. S. Nano-Grained Tungsten Carbide-Cobalt (WC/Co), 1998. Agradecimentos: Universidade de Sorocaba, PPGPTA/UNISO, laboratórios envolvidos e apoio técnico-científico do Prof. Dr. Thomaz Augusto Guisard Restivo.