

MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES DE CERMETS A BASE DE NbC LIGADOS AO Ni e Ni₃Al.

Evandro Dematte^{3*}, Caio L. A. de Souza¹, Cristiano da Silva², Eliana Franco¹, Júlio C. G. Milan¹, César E. da Costa¹.

1 - Departamento de Engenharia de Mecânica (DEM) Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Joinville, SC.

2 - Departamento da Mecânica, Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Jaraguá do Sul, SC.

3 - Departamento de Tecnologia Industrial (DTI), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Rua Luiz Fernando Hastreiter, 180, São Bento do Sul, CEP 89283-081, SC.

evandro.dematte@udesc.br

RESUMO

Essa pesquisa tem como objetivo a análise da influência do ligante de níquel e alumineto de níquel (Ni₃Al) sobre a microestrutura e propriedades de cermets a base de NbC. Cermets com NbC têm sido pesquisados como uma alternativa para a substituição dos metais duros que possuem alto custo e são nocivos à saúde. O pó de Ni₃Al foi fabricado por moagem de alta energia. As misturas NbC-12Ni, NbC-12Ni₃Al e NbC-6Ni-6Ni₃Al (% p.) foram fabricadas por moagem, compactação e sinterização sob vácuo, sendo a sinterização foi realizada a temperatura de 1420°C por 60 minutos de patamar. DRX, MEV, ensaios de dureza e densidade foram realizados para caracterização microestrutural e avaliação das propriedades. A utilização de Ni-Ni₃Al como ligante promoveu uma boa dureza (aproximadamente 1173 HV₁) com pouca dispersão de valores. O teor de Ni na composição NbC-6Ni-6Ni₃Al promoveu uma boa densificação (aproximadamente 90%). Desta forma, a combinação de Ni-Ni₃Al é conveniente para obtenção de cermets a base de NbC.

Palavras-chave: Cermets, Carbetos de Níbio, Níquel, Ni₃Al, Metalurgia do pó.

INTRODUÇÃO

A utilização de um ligante apropriado para cermets de NbC pode melhorar a sua densificação durante a sinterização com fase líquida⁽¹⁾ abaixo da temperatura de fusão do NbC⁽²⁾. Níquel, cobalto, ferro e intermetálicos como aluminetos de ferro e níquel são alternativas para a fabricação de cermets a base de NbC^(1,3-5). A quantidade de ligante também influencia nas propriedades mecânicas do material, quanto maior for a quantidade, melhor é a densificação do cermet, porém menor é a dureza. Deve-se encontrar uma quantidade de ligante ideal, que possibilite a fabricação do cermet e ao mesmo tempo confira valores de dureza e densidade desejados. Uma quantidade de entre 10 %p. a 12%p. de ligante geralmente é utilizada em cermets.

Níquel e alumineto de níquel (Ni₃Al) são materiais que possuem alta resistência a corrosão a elevadas temperaturas⁽⁶⁾. A adição de 12%vol.de Ni ou Ni₃Al como ligante pode produzir cermets a base de NbC com durezas próximas a 1300 HV₁₀⁽¹⁾. Além disso, o Ni₃Al inibe o crescimento de grãos durante a sinterização com fase líquida de cermets a base de NbC. Embora

o Ni_3Al seja um material de baixa compressibilidade, quando sinterizado esse intermetálico pode alcançar durezas próximas a $600 \text{ HV}_{0.025}^{(7)}$.

Nesse contexto, supõe-se que a utilização de um ligante $\text{Ni-Ni}_3\text{Al}$ em cermets a base de NbC possa facilitar a compactação e contribuir na obtenção de cermets com maior dureza e densidade. O processo de metalurgia do pó convencional foi empregado pela simplicidade. Vale destacar que metais duros com elevadas durezas são produzidos por essa tecnologia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados na produção dos cermets foram pós com aproximadamente 99% de pureza de NbC (CBMM), Ni (Companhia Química JB) e Al (Alcoa do Brasil), sendo seus tamanhos de partícula de $2,0 \mu\text{m}$, $3,0 \mu\text{m}$ e $39,7 \mu\text{m}$ respectivamente.

O pó de Ni_3Al foi produzido através de uma mistura com pós elementares de Ni e Al , na quantidade de 88 e 12%p. respectivamente, sendo adicionados também 1,5%p. de cera tipo C (PCA) e homogeneizada em um misturador do tipo “Y” por 20 min. Em seguida, a moagem da mistura foi realizada por 15h sob atmosfera de argônio, em moinho atritor, com velocidade de 400 rpm e relação bola/pó de 20:1. Após moagem, a mistura foi recozida a 1000°C por 2 h sob atmosfera de N_2H_2 .

As composições de cermets investigadas foram NbC-12Ni (%p.), $\text{NbC-12Ni}_3\text{Al}$ (%p.) e $\text{NbC-6Ni-6Ni}_3\text{Al}$ (%p.). Em todas as composições foram adicionadas 1,5 %p. de Acrawax[®] C como lubrificante. As composições foram misturadas por 20 minutos a 200 rpm em moinho planetário, utilizando atmosfera de argônio puro (99,99%) e relação bola/pó de 2:1. Os cermets foram compactados (700 MPa) e na sequência submetidos ao processo de *debinding* a 450°C por 20 min, com atmosfera de nitrogênio puro (99,99%) e resfriamento no forno. O processo subsequente foi a sinterização das amostras sob vácuo a 1420°C por 1h, com aquecimento de $5^\circ\text{C}/\text{min}$ e resfriamento no forno.

O pó de alumineto de níquel (Ni_3Al) foi caracterizado por DRX através da base X’Pert Phillips. Os cermets a base de NbC sinterizados foram analisados em sua microestrutura e composição por MEV equipado com detectores EDS. A dureza foi avaliada através de ensaios de microdureza Vickers (HV_1) em todas as composições e a densidade por ensaios de densidade Archimedes (ABNT NBR 16661: 2017). Densidades teóricas foram utilizadas para cálculo da densidade relativa utilizando a regra das misturas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o difratograma de DRX da mistura em pó de Ni e Al após o processo de moagem e recozimento. no qual foi identificado Ni_3Al , comprovando a formação dessa fase. De acordo com a figura 2, esse pó de Ni_3Al possui uma morfologia irregular.

Os cermets NbC-12Ni e $\text{NbC-6Ni-6Ni}_3\text{Al}$ alcançaram durezas estatisticamente iguais (aproximadamente 1157 HV_1 e 1172 HV_1 respectivamente) e superiores ao cermet $\text{NbC-12Ni}_3\text{Al}$ (aproximadamente 1048 HV_1) de acordo com o Test “t” com confiabilidade de 95% (Figura 3). Os ensaios de dureza indicaram que a utilização do ligante $\text{Ni}_3\text{Al-Ni}$ reduziu a dispersão de dureza, enquanto o ligante Ni_3Al puro diminuiu a dureza do cermet de NbC (Figura 3).

Contudo, o cermet NbC-12Ni apresentou a melhor densificação de 96%, demonstrando que o níquel pode melhorar a densidade dos cermets de NbC . Como previsto, cermets com níquel (96%) apresentaram maior densidade relativa que cermets com Ni_3Al . Os cermets $\text{NbC-6Ni-6Ni}_3\text{Al}$ e $\text{NbC-12Ni}_3\text{Al}$ obtiveram densidades estatisticamente iguais de acordo com o teste “t” (com 95% de confiança), sendo de 89,6% e 90,8% respectivamente. Demonstrando que uma

quantidade de 6%p. de níquel no ligante apresentou a mesma densidade dos cermets de NbC com Ni_3Al .

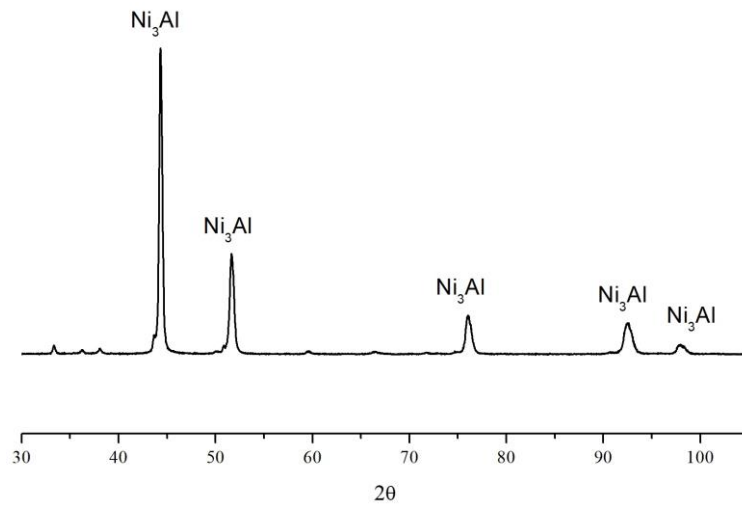


Figura 1: Difratoogramas de DRX do Ni_3Al obtido pelos processos de moagem e recozimento a 1000°C.

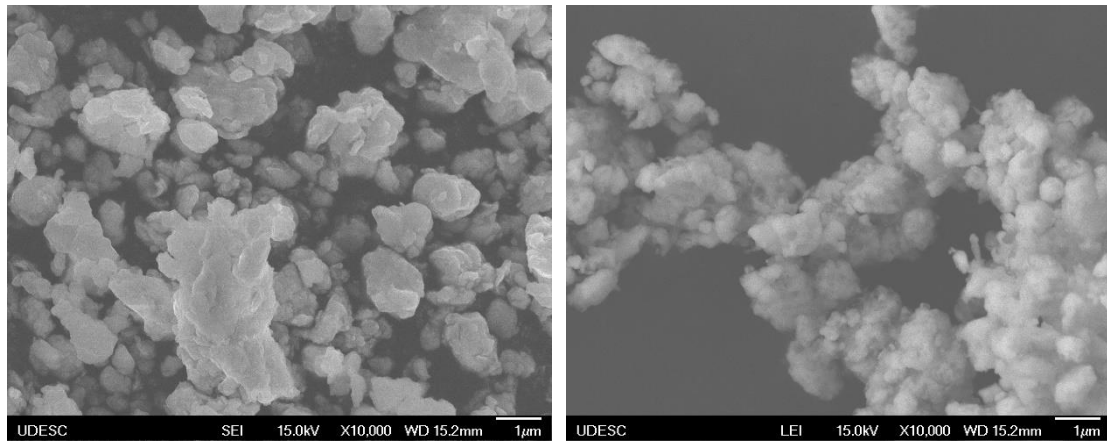


Figura 2: Morfologia do pó de Ni_3Al obtido por moagem de alta energia.

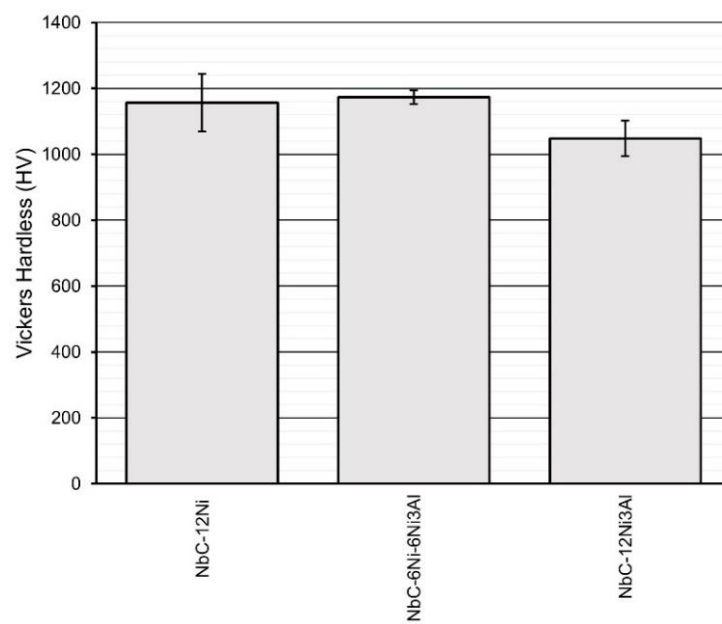


Figura 3: Dureza dos Cermets de NbC com adições de Ni e/ou Ni_3Al (%p.).

Nas microestruturas dos cermetes das três composições estudadas (Figura 4), as regiões em cinza claro foram identificadas como NbC de acordo com EDS (Tabela 1) e as de cinza escuro como ligante (Tabela 1). O aumento da quantidade de Ni₃Al no ligante promoveu a melhor distribuição deste elemento na matriz, porém reduziu a densificação, o que, por consequência prejudicou a dureza do cermet (Figura 3).

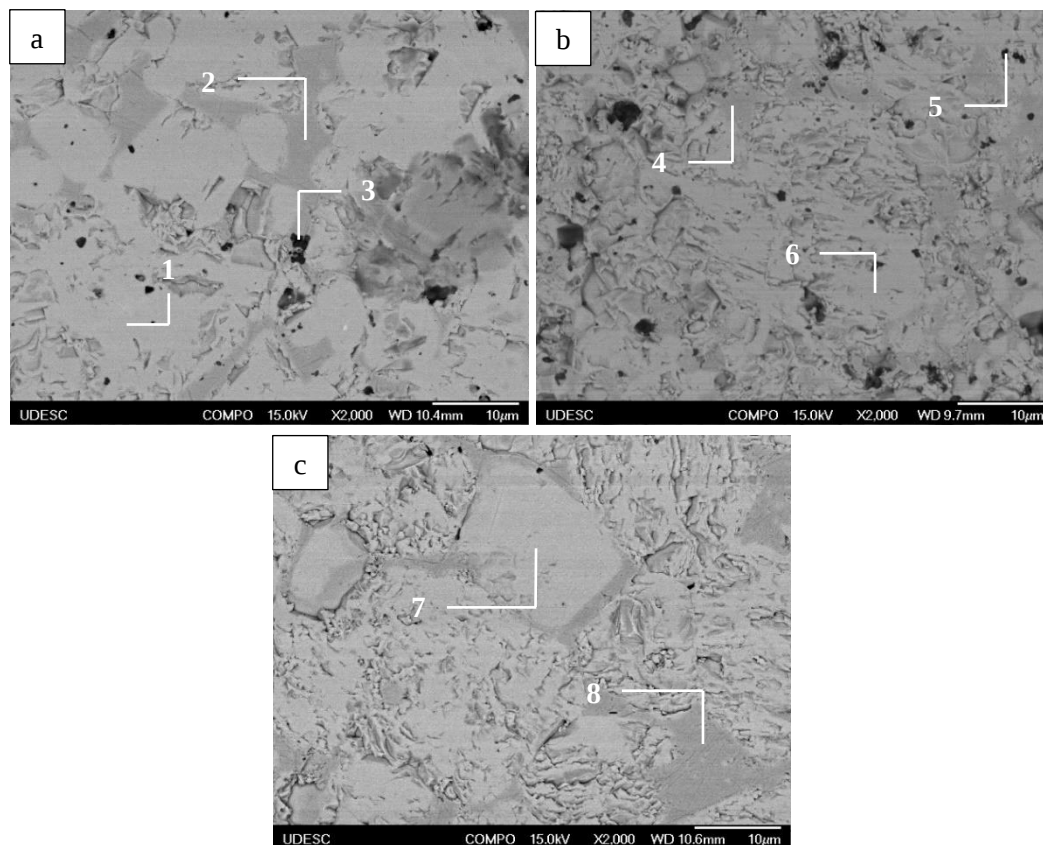


Figura 4: Micrografias dos cermetes de NbC₆Ni₆Ni₃Al (a), NbC₁₂Ni₃Al (b) e NbC₁₂Ni (c).

Tabela 1: Análises de EDS da Figura 4 Em (%p.).

Pontos	Nb	Ni	Al	C	Outros
1	91	-	1	4	4
2	75	15	0	4	8
3	82	6	0	6	4
4	34	55	2	5	4
5	89	-	-	8	3
6	89	-	-	8	3
7	90	-	-	7	3
8	79	13	-	5	3

CONCLUSÕES

A aplicação de um ligante Ni-Ni₃Al ao cermet a base de NbC resultou uma boa relação entre dureza e densidade. Esse ligante conferiu uma menor dispersão de dureza comparada aos demais, entretanto o teor de Ni utilizado foi insuficiente para aumentar a densidade, que se manteve similar ao cermet com ligante Ni₃Al puro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: a CAPES-Código 001, a FAPESC (PJP2021321000003), ao CNPq (CEC: N°306255/2020-0) pelos recursos financeiros, a CBMM (Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração) pela doação do material de pesquisa, a infraestrutura do Centro Multiusuários do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina.

REFERÊNCIAS

1. HUANG, S. G. *et al.* NbC-based cermets: Influence of secondary carbide addition and metal binder. *In:* , 2018, São Paulo. **International Symposium on Wear Resistant Alloys for the Mining and Processing Industry**. São Paulo: Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM), 2018. p. 521–534. Disponível em: https://www.niobium.tech/en/Pages/Gateway-Pages/PDF/Technical-Papers/NbC_based_cermets__influence_of_secondary_carbide_addition_and_metal_binder. Acesso em: 30 mar. 2020.
2. PIERSON, H. O. Carbides of Group IV. *In: HANDBOOK OF REFRACTORY CARBIDES AND NITRIDES*. [S. l.]: Elsevier, 1996. p. 55–80. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-081551392-6.50005-2>
3. HUANG, S. G.; VLEUGELS, J.; MOHRBACHER, H. Stainless steel bonded NbC matrix cermets using a submicron NbC starting powder. **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, [s. l.], v. 63, p. 26–31, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2016.04.021>
4. CORRÊA, B. S. **Sinterização do Sistema Nb - Ni - C por alta pressão**. 100 f. 2018. - Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/trabalhos-defendidos/dissertacoes/>. Acesso em: 15 jun. 2020.
5. SHAO, Y. *et al.* Fabrication and characterization of NbC-CoCrFeNiMn high-entropy alloy cermets. **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, [s. l.], v. 94, p. 105388, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2020.105388>
6. HUANG, S. G. *et al.* NbC-based cermets: Influence of secondary carbide addition and metal binder. **Euro PM 2014 Congress and Exhibition, Proceedings**, [s. l.], 2014.
7. FENILI, C. P. *et al.* Synthesis And Consolidation of Fe₃Al And Ni₃Al Intermetallic: Mechanical And Structural Properties. *In:* , 2013, São Paulo. **68º Congresso da ABM**. São Paulo: [s. n.], 2013. p. 1065–1076. Disponível em: <https://abmproceedings.com.br/ptbr/event/68-congresso-da-abm>

MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF NbC-BASED CERMETS BOUND TO Ni AND Ni₃Al.

ABSTRACT

The main objective of this research is to analyze the influence of nickel and nickel aluminide (Ni₃Al) binder on the microstructure and properties of NbC-based cermets. NbC-based cermets have been researched as an alternative to replace hard metals that are expensive and harmful to health. Ni₃Al powder was manufactured by mechanical alloying. The mixtures NbC-12Ni, NbC-12Ni₃Al and NbC-6Ni-6Ni₃Al (wt%) were manufactured by milling, pressing and vacuum sintering, being that the sintering was carried out at a temperature of 1420°C for 60 minutes. XRD, SEM, hardness and density tests were performed for microstructural characterization and analyzation of properties. The use of Ni-Ni₃Al as a binder promoted a good hardness (approximately 1173 HV₁) with little dispersion of values. The Ni content in the NbC-6Ni-6Ni₃Al composition promoted good densification (approximately 90%). Thus, the combination of Ni-Ni₃Al is convenient for obtaining NbC-based cermets.

Keywords: Cermets, Niobium Carbide, Nickel, Ni₃Al, Powder Metallurgy.