

CERMETS A BASE DE NbC LIGADOS AO Ni E Ni₃Al OBTIDOS POR METALURGIA DO PÓ

Douglas Novak, César Edil da Costa, Júlio César Giubilei Milan, Evandro Dematté

INTRODUÇÃO

Pesquisas têm buscado alternativas aos metais duros e cermets à base de TiC para ferramentas de corte (Machado *et al.*, 2009). Nesse cenário, cermets à base de NbC destacam-se por suas boas propriedades mecânicas, elevada resistência ao desgaste e menor custo (Huang *et al.*, 2018; Woydt *et al.*, 2018). Assim, este trabalho tem como objetivo investigar o efeito da variação do conteúdo do ligante Ni-(Ni-12Al) na produção e na resistência ao desgaste de cermets à base de NbC. Foram estudadas composições com 10%p., 12%p. e 15%p. do ligante Ni-Ni₃Al. Os cermets foram obtidos por metalurgia do pó convencional, compactados uniaxialmente a 700 MPa e sinterizados a vácuo a 1420 °C por 1 hora. O ensaio de desgaste pino-disco foi realizado conforme a norma ASTM G99 (Dematte *et al.*, 2023). Os materiais produzidos apresentaram durezas superiores a 1000 HV₁, consideradas semelhantes entre si, com densidades próximas de 90%. No entanto, o aumento da fração de ligante Ni-(Ni-12Al) teve influência significativa na densidade e dureza dos cermets analisados. A composição com 15%p. do ligante Ni-Ni₃Al apresentou o menor volume de material removido durante o ensaio, além de uma redução de 17% no coeficiente de atrito em comparação às demais composições com 10%p. e 12%p. de ligante. Dessa forma, os cermets NbC-7,5Ni-7,5Ni₃Al (%p.) demonstram ser uma alternativa promissora para aplicação em ferramentas de corte.

O aumento da fração do ligante Ni-Ni₃Al promoveu uma melhor distribuição do ligante pela matriz de NbC, favorecendo a coalescência e sinterabilidade. Além disso, estudos recentes indicam que o arredondamento das arestas dos carbeto de NbC, associado à redução do tamanho e da quantidade de poros, contribui significativamente para a diminuição da concentração de tensões residuais, melhorando a resistência mecânica e a durabilidade ao desgaste sob condições de uso severas (Anwer *et al.*, 2023; Huang *et al.*, 2018). Esses aspectos microestruturais favorecem a sinterabilidade e homogeneidade do ligante, essenciais para a performance dos cermets em ferramentas de corte.

Os valores de rugosidade superficial (Ra) ficaram abaixo de 1 µm para todas as amostras, atendendo à norma ASTM G99-23. Entre elas, o cermet NbC-7,5Ni-7,5(Ni₃Al) foi o que apresentou a menor rugosidade, com uma diferença de aproximadamente 41% em relação aos outros. A menor rugosidade pode contribuir para um menor atrito entre as superfícies durante o contato no ensaio de desgaste, favorecendo o desempenho tribológico.

DESENVOLVIMENTO

As amostras foram produzidas por meio da técnica convencional de metalurgia do pó, passando pelas etapas de moagem, compactação e sinterização. Foram avaliadas três composições: NbC-5Ni-5(Ni₃Al), NbC-6Ni-6(Ni₃Al) e NbC-7,5Ni-7,5(Ni₃Al), todas em porcentagem em peso (%p.). O ligante utilizado era composto por 50% em peso de Ni e 50% de Ni-12Al. A moagem foi feita em moinho planetário, a 200 rpm por 20 minutos, com razão esferas/pó de 2:1, em atmosfera de argônio. As misturas foram compactadas uniaxialmente sob 700 MPa, utilizando uma matriz de dupla ação. A sinterização foi realizada em forno a vácuo, a 1420 °C por 1 hora, com aquecimento de 5 °C/min e patamar intermediário de 850 °C por 10 minutos. O resfriamento ocorreu dentro do próprio forno (Dematte *et al.*, 2023). Para avaliar o desgaste, foi realizado um teste pino-disco segundo a norma ASTM G99-23, usando amostras lixadas. O

teste teve velocidade de deslizamento de 0,1 m/s, carga de 10 N e distância de 1000 m, com uma esfera de alumina de 6 mm como contra-corpo. O coeficiente de atrito foi medido após 200 metros, quando o atrito se estabilizou. O volume de desgaste foi calculado a partir de quatro perfis da pista de desgaste, medidos com perfilômetro. A dureza foi avaliada pelo teste de microdureza Vickers, e a densidade aparente pelas normas da ABNT, comparada com valores teóricos (Demattê, 2021). A rugosidade da superfície também foi medida com um rugosímetro.

RESULTADOS

Os cermets NbC-7,5Ni-7,5(Ni₃Al) apresentaram o menor volume de material removido (VMR) entre todas as composições estudadas. Esse desempenho indica uma maior resistência ao desgaste, o que é desejável para materiais aplicados em ferramentas de corte. Além disso, essa composição também registrou uma redução de aproximadamente 17% no coeficiente de atrito em comparação com os cermets contendo 10% e 12% de ligante metálico (NbC-5Ni-5(Ni₃Al) e NbC-6Ni-6(Ni₃Al), respectivamente), conforme mostrado na Tabela 1.

Em relação à dureza, todos os cermets analisados apresentaram valores superiores a 1000 HV₁, considerados satisfatórios e semelhantes entre si. As densidades também foram próximas, com os cermets contendo 5% e 6% de ligante alcançando densidades de aproximadamente 93%. Já o cermet com 15% de ligante apresentou uma leve redução de cerca de 3% na densidade, chegando a valores em torno de 90%. Apesar da pequena variação observada, a densidade obtida permanece semelhante à dos cermets de NbC já pesquisados (Huang *et al.*, 2018), não causando impacto significativo sobre suas propriedades.

Os valores de rugosidade superficial (Ra) ficaram abaixo de 1 µm para todas as amostras, atendendo à norma ASTM G99-23. Entre elas, o cermet NbC-7,5Ni-7,5(Ni₃Al) foi o que apresentou a menor rugosidade, com uma diferença de aproximadamente 41% em relação aos outros. A menor rugosidade pode contribuir para um menor atrito entre as superfícies durante o contato no ensaio de desgaste, favorecendo o desempenho tribológico.

Durante os testes de desgaste (ensaio pino-disco), os cermets NbC-7,5Ni-7,5(Ni₃Al) apresentaram, além do menor coeficiente de atrito médio. A redução no coeficiente de atrito é especialmente importante em ferramentas de corte, pois contribui para diminuir o atrito entre a ferramenta e o material a ser usinado, o que reduz a força de corte, o desgaste e o consumo de energia no processo (Woydt; Mohrbacher, 2014). O desempenho tribológico dos cermets de NbC ligados a Ni-Ni₃Al é favorecido pela sua elevada estabilidade térmica e resistência à tribo-oxidação, que resulta na formação de óxidos estáveis e duros de nióbio, minimizando o desgaste e o atrito em condições de alta temperatura típicas da usinagem (Woydt & Mohrbacher, 2014; Huang *et al.*, 2018). Assim, os resultados obtidos com o cermet NbC-7,5Ni-7,5(Ni₃Al) mostram um bom potencial para essa aplicação, combinando resistência ao desgaste, baixa rugosidade e atrito reduzido.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou que a variação do teor do ligante Ni-(Ni₃Al) influencia diretamente as propriedades dos cermets à base de NbC. A composição com 15% em peso do ligante (NbC-7,5Ni-7,5Ni₃Al) apresentou os melhores resultados, com menor volume de material removido, menor coeficiente de atrito e menor rugosidade superficial, indicando maior resistência ao desgaste e melhor desempenho tribológico. Embora tenha ocorrido uma pequena redução na densidade, essa variação não afetou significativamente as propriedades mecânicas do material, que manteve dureza superior a 1000 HV₁. Dessa forma, os cermets NbC-7,5Ni-7,5Ni₃Al mostram-se uma alternativa promissora para uso em ferramentas de corte, oferecendo bom equilíbrio entre desempenho e custo.

Palavras-chave: carbeto de nióbio; níquel; alumineto; metalurgia do pó.

ILUSTRAÇÕES

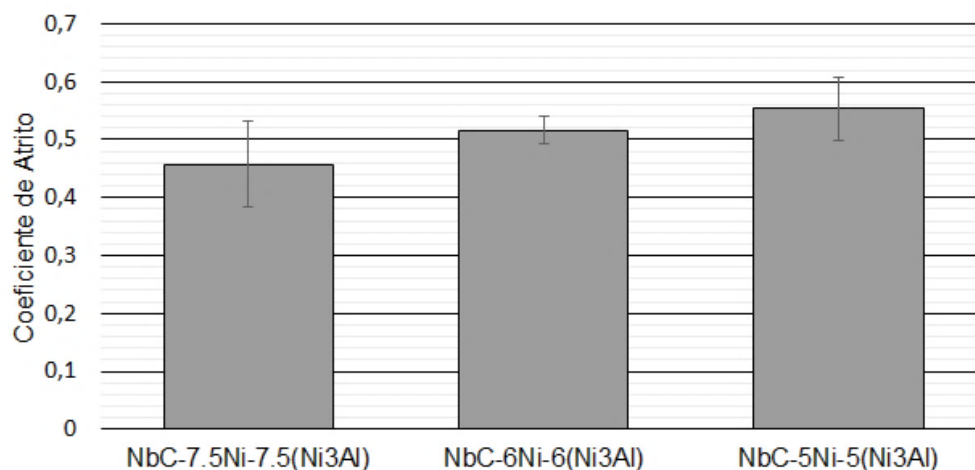


Figura 1. Coeficiente de Atrito Médio dos Cermets NbC ligados ao Ni e Ni₃Al.

Tabela 2. Propriedades dos cermets NbC, densidade, dureza e VMR.

Cermets	Densidade (%)	Dureza (HV1)	VMR (x10 ⁻³ mm ³)	Ra (µm)
NbC-5Ni-5(Ni ₃ Al)	93	1096,0 ± 81,4	30,5 ± 7,7	0,81 ± 0,13
NbC-6Ni-6(Ni ₃ Al)	93	1032,6 ± 56,7	24,2 ± 5,2	0,80 ± 0,16
NbC-7.5Ni-7.5(Ni ₃ Al)	90	1048,6 ± 45,1	4,6 ± 1,0	0,47 ± 0,07

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEMATTE, Evandro. Cermets de carbeto de nióbio ligados ao níquel e Ni₃Al desenvolvidos por metalurgia do pó. 2021. 114 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2021.

DEMATTE, Evandro; FRANCO, Eliana; MILAN, Júlio; DA COSTA, César Edil. Influence of Milling and Use of Ni and Al Containing Metal Binder in NbC-Based Cermets. Materials Research, [s. l.], vol. 26, p. e20220003, 3 Feb. 2023. DOI 10.1590/1980-5373-MR-2022-0003. Available at:

<https://www.scielo.br/j/mr/a/6fN9ybNsrjVFRnQk7zQG7Nr/abstract/?lang=en>. Accessed on: 16 Aug. 2023.

HUANG, S. G.; VLEUGELS, J.; MOHRBACHER, H.; WOYDT, M. NbC grain growth control and mechanical properties of Ni bonded NbC cermets prepared by vacuum liquid phase sintering. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, [s. l.], vol. 72,

p. 63–70, Apr. 2018. DOI 10.1016/j.ijrmhm.2017.12.013. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2017.12.013>. Accessed on: 27 Nov. 2020.

MACHADO, Álisson Rocha; COELHO, Reginaldo Teixeira; ABRÃO, Alexandre Mendes; DA SILVA, Márcio Bacci. Teoria da Usinagem. 1st ed. São Paulo: Edgar Bücher Ltda, 2009.

WOYDT, Mathias; MOHRBACHER, Hardy. The tribological and mechanical properties of niobium carbides (NbC) bonded with cobalt or Fe₃Al. Wear, [s. l.], vol. 321, p. 1–7, 1 Dec. 2014. DOI 10.1016/j.wear.2014.09.007. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2014.09.007>. Accessed on: 27 Nov. 2020.

WOYDT, Mathias; MOHRBACHER, Hardy; VLEUGELS, Jef; HUANG, Shuigen. Potentials of Niobium Carbide (NBC) as Cutting Tools and for Wear Protection. Proceedings of the 41st International Conference on Advanced Ceramics and Composites: Ceramic Engineering and Science Proceedings. [S. l.]: Wiley, 2018. vol. 38, p. 99–111. DOI 10.1002/9781119474678.ch10. Available at:
<http://doi.wiley.com/10.1002/9781119474678.ch10>.

Anwer, Z., Vleugels, J., Datye, A., Zhang, S., & Huang, S. (2023). Influence of varying carbon content in (V,Nb,Ta,Ti,W)C high entropy carbide - Ni based cermets on densification, microstructure, mechanical properties and phase stability. Ceramics International, 49(3), 4997-5012.

Huang, S. G., Vleugels, J., Mohrbacher, H., & Woydt, M. (2018). NbC grain growth control and mechanical properties of Ni bonded NbC cermets prepared by vacuum liquid phase sintering. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 72, 63-70.

DADOS CADASTRAIS

BOLSISTA: Douglas Novak

MODALIDADE DE BOLSA: PROBIC/UDESC

VIGÊNCIA: 09/2024 a 08/2025 – Total: 12 meses

ORIENTADOR(A): Evandro Dematte

CENTRO DE ENSINO: CCT

DEPARTAMENTO: Departamento de Engenharia Mecânica

ÁREAS DE CONHECIMENTO: Engenharias/ Engenharias de Materiais e Metalúrgica

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: Cermets a Base de NbC Ligados ao Ni e Ni₃Al
Obtidos por Metalurgia do Pó.

Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA: NPP4315-2021