

RESISTÊNCIA AO DESGASTE DE CERMETS A BASE DE FERRO CARBETO DE NIÓBIO

Ivandro Bonetti, ivandro@ifsc.edu.br¹

Eliana Franco, efeliana.franco@gmail.com²

Fernando Demboski, fernandodemboski@gmail.com³

César Edil da Costa, cesar.edil@udesc.br⁴

Júlio César Giubilei Milan, julio.milan@udesc.br⁵

¹Instituto Federal de Educação de Santa Catarina - IFSC, R. Pavão, 1377 – Bairro Costa e Silva – Joinville/SC - Brasil

^{2,3,4,5}Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Centro de Ciências Tecnológicas – CCT / Rua Paulo

Malschitzki, s/n - Campus Universitário Prof. Avelino Marcante – Bairro Zona Industrial Norte – Joinville/SC - Brasil

Resumo: O carbetto de nióbio tem apresentado tendência de crescimento favorável em aplicações industriais. Especialmente aquelas relacionadas à aplicação como reforço microestrutural para aços ferramentas visando incrementar dureza e resistência ao desgaste. Caracteriza-se pelo elevado ponto de fusão e dureza, assim como por apresentar significativa estabilidade térmica e inércia química. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a viabilidade da sinterização do cermet ferro carbetto de nióbio em relação à resistência ao desgaste. O volume de desgaste de corpos de prova de ferro puro, ferro carbetto de nióbio e de um inserto comercial de carbetto de titânio foram analisados comparativamente. As análises metalográficas comprovaram que a porosidade resultante da etapa de sinterização apresentou patamares reduzidos, mesmo diante da variação do percentual de ferro na matriz de ferro carbetto de nióbio, atestando a boa dispersão do particulado. A microdureza obtida para o ferro carbetto de nióbio foi de 2600HV aproximando-se dos valores observados na literatura para este material. O volume de material removido foi mensurado com auxílio de microscopia confocal, os resultados apontaram que a variação do percentual de ferro no carbetto não evidenciou alterações significativas no volume desgastado. Por outro lado, o ferro carbetto de nióbio sem adição de ferro apresentou uma redução média de 72% no volume de desgaste comparado as amostras que tiveram adição de ferro na matriz. Os resultados apontaram uma proximidade nos valores do volume de desgaste entre o carbetto de titânio e o carbetto de nióbio. Esta condição sugere que o ferro carbetto de nióbio apresenta eficiência quando aplicado às condições em que a resistência ao desgaste seja requisito prioritário no projeto.

Palavras-chave: ferro carbetto de nióbio, cermet, metalurgia do pó, desgaste por deslizamento

1. INTRODUÇÃO

Cermets são materiais compósitos constituídos por uma fase cerâmica, geralmente formada por carbonetos ou carbonitretos de metais refratários, ligados a uma fase metálica, como por exemplo cobalto ou níquel no caso do metal duro. Cermets são frequentemente utilizados como materiais para a fabricação de ferramentas de usinagem, motivado por apresentarem elevada resistência à abrasão e ao desgaste, Kano et al (2009).

Atualmente há uma crescente busca pela substituição de elementos como cobalto e níquel por ferro nas indústrias de cermets e metal duro visando encontrar um material com preço e propriedades intermediários entre o aço ferramenta e o metal duro. Por outro lado tanto o cobalto quanto níquel são escassos e produzem risco a saúde e ao ambiente. Pós a base de níquel estão sob advertência de perigo H351, de acordo com o regulamento da Comissão Europeia EC 790/2009, Official Journal of the European Union (2009). Por outro lado, materiais como WC-Co são considerados tóxicos por inalação e atualmente estão sob consideração para inclusão na lista de substâncias suspeitas de serem cancerígenas humanas de acordo com Services, U.S. Dept. of Health and Human (2011).

A obtenção de cermets a base de nióbio normalmente ocorre por meio de técnicas baseadas na adição de pó de carbetto de nióbio (NbC) na matriz de metal na forma fundida ou em pó. (Gordo et al, 2007; Martinelli et al, 2006; Klein et al, 2011). Em tais casos, a quantidade de reforço é limitada ao tamanho do pó de partida, pelas reações interfaciais entre reforços e matriz e pela molhabilidade entre o reforço e a matriz devido à contaminação da superfície de reforços.

Neste aspecto o uso de ferro na matriz metálica apresenta várias vantagens se comparado com a adição do cobre ou níquel, incluindo a não toxicidade, a abundância de recursos que conduzem a um custo mais baixo e a capacidade de ser endurecido por tratamento térmico, o que poderia levar a uma alta dureza com uma menor quantidade de fase cerâmica, Gordo et al (2008).

Alguns carbonetos metálicos são adicionados não só para melhorar o desempenho do material, mas também para melhorar o processamento, em função do incremento da molhabilidade entre a fase cerâmica e metal, o qual resulta em aumento da densidade e diminuição do crescimento das partículas, Franco (2015)

O interesse em cermets reforçados com NbC é múltiplo, tanto pelos efeitos positivos do carbetto de nióbio em metais duros, como pela abundância do nióbio nas jazidas brasileiras.

O carbetto de nióbio possui inúmeras características potencialmente interessantes para o uso em aplicações que requerem resistência ao desgaste, tal como elevada dureza, Amriou et al (2003), elevada tenacidade e módulo de Young

de 477GPa de acordo com Woydt (2015) e elevada temperatura de fusão, 3873 °C segundo Sustarsic et al (2003). Por outro lado, o carbetto de titânio é comercialmente aplicado para a fabricação de insertos de corte e apresenta dureza de 3000 HV e temperatura de fusão de 3100 °C, Lee et al (1998).

Em relação aos cermetes a base de carbetto de nióbio existem poucos estudos conduzidos, tal condição pode estar relacionada ao fato da sua descoberta tardia. Nióbio é abundante e se tornou barato somente depois que as reservas de *pyrochlore* foram descobertas no Brasil e Canadá, durante a década de 1960, conforme aponta Araujo Filho et al (2010). Além disso, a maioria dos estudos está concentrada em cermetes com baixo teor de reforço, até 15% em peso, por causa das dificuldades encontradas para aumentar o conteúdo de reforço sem diminuir as propriedades mecânicas, Gordo et al (2002).

Uma possibilidade da aplicação do carbetto de nióbio reforçado com ferro está na obtenção de peças por meio da metalurgia do pó. Esta técnica é versátil para a preparação de diferentes composições e possibilita a obtenção de elevada densificação dos sinterizados, além de permitir o controle do processo com apreciável precisão, Silva (2003). Dentre os processos recentes de fabricação de peças com alta densidade por metalurgia do pó cita-se a sinterização a alta temperatura, Cremonezi et al (2009).

O objetivo deste estudo é avaliar a viabilidade de sinterização do cermet ferro carbetto de nióbio em relação à resistência ao desgaste. Para isto foi avaliado a influência da variação dos teores de ferro na matriz do cermet sobre a microdureza e volume de material removido. Adicionalmente foi comparado o volume de desgaste, no desgaste por deslizamento do tipo pino sobre disco, de amostra de ferro puro, ferro carbetto de nióbio e um inserto comercial de carbetto de titânio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Mistura dos Pós e Obtenção de Diferentes Composições

O ferro carbetto de nióbio utilizado foi fornecido pela Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) na forma de *bricktes* na ordem de 3 centímetros. O tamanho da partícula foi reduzido por meio da moagem de alta energia. O pó produzido na moagem foi peneirado e foram selecionados apenas particulados com tamanho inferior a 53 micrometros. O material recebido apresentava a composição de 4,8% de carbono e 36,5% de ferro.

Da mesma forma, o pó de ferro puro também foi peneirado para que sua granulometria fosse mantida igual à do ferro carbetto de nióbio.

Em seguida, foram misturadas quatro composições com diferentes percentuais em massa de particulado de ferro carbetto de nióbio e de pó de ferro puro. As composições obtidas estão representadas na Tab (1).

Tabela 1. Composições selecionadas

Nome da composição	Percentual, em massa, de pó de ferro carbetto de nióbio (%)	Percentual, em massa, de pó de ferro puro
FeNbC	100	0
FeNbC - 25%Fe	75	25
FeNbC - 50%Fe	50	50
Ferro puro	0	100

2.1 Compactação e Sinterização

A compactação das amostras foi realizada em uma prensa hidráulica com carga de 700 Mpa, estereato de zinco a 2% foi utilizado como lubrificante sólido. Para avaliar o comportamento térmico das amostras, especialmente em relação a formação de fase líquida foi empregadas ensaio de análise térmica diferenciada (DTA) em um equipamento SETSYS *Evolution Advanced Bonsai Technologies*. Os testes ocorreram em sob atmosfera de argônio até a temperatura de 1450 °C, com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min e uma taxa de resfriamento de 20 °C/min. As amostras foram obtidas a partir de uma matriz flutuante com secção transversal quadrada de 5mm e comprimento de 50mm. Foram compactadas duas amostras da composição FeNbC-50%, uma da FeNbC-25% e outra da FeNbC.

No caso das amostras destinadas ao ensaio de desgaste, foi utilizada uma matriz flutuante com 25mm de diâmetro de secção transversal. Foram compactadas três amostras para cada uma das composições FeNbC-50%Fe, FeNbC-25%Fe, FeNbC e Ferro puro, obtendo-se amostras de 5mm de espessura.

As amostras, foram sinterizadas em um forno a vácuo Carbolite da UC3M. Estas foram aquecidas até a temperatura de 480 °C, e então mantidas por 20min com uma taxa de 5 °C/min. Então a temperatura foi elevada até 1000 °C com a mesma taxa de aquecimento, seguidamente a temperatura foi elevada a 1350 °C a uma taxa de aquecimento de 2 °C/min, ao alcançar esta temperatura foi realizado um patamar de 1h nesta temperatura, para então o forno ser desligado, e as amostras foram retiradas.

Para avaliar a microestrutura do material sinterizado foi realizada análise metalográfica. Na preparação das amostras utilizou lixamento até lixa 600, seguido de polimento em alumina de 1 μm e ataque químico com nital 3%.

Para analisar as fases formadas as amostras foram submetidas à difração de raios-x em um Difratorômetro Shimadzu 6000, operando com radiação de Cu-K α . As difrações foram realizadas com radiação de Cu ($\lambda=1,5405$), corrente de 40 mA e potencial de aceleração de 40 kV, a varredura foi realizada em ângulos entre 20 e 85 graus e tempo por passo de 0,8 s. Para identificação dos picos de raios-x foram utilizados padrões de base de dados PCPDFIN.

2.2 Ensaio Tribológico

As amostras foram previamente retificadas para assegurar uniformidade na qualidade superficial. O ensaio de desgaste foi realizado em um tribômetro do tipo pino-sobre disco. O coeficiente de atrito foi monitorado através da medição da força de atrito. Para fins de comparação de volume de material removido foram utilizados três insertos comerciais de um cermet a base carbeto de titânio. O contra-corpo utilizado no ensaio de desgaste foi uma esfera de alumina polida de 6 mm de diâmetro.

Os ensaios foram realizados em temperatura ambiente ($\sim 25^\circ\text{C}$) e umidade relativa $\leq 50\%$, carga sobre o pino de 10 N, velocidade de deslizamento de 0,1 m/s, distância de deslizamento de 1000 m e raio de pista de 6 mm. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM G99-05 (2010).

Para a avaliação do volume de material removido foram realizados três ensaios para cada composição. Este foi obtido com o auxílio de microscópio confocal Leica DCM 3D para obtenção do perfil da trilha de desgaste. Posteriormente por meio de uma rotina computacional desenvolvida com o auxílio do programa MountainsMap[®] foi calculado a área média transversal da trilha de desgaste obtida na microscopia confocal, consequentemente por integração ao raio da trilha foi determinado o volume de material removido.

2.3 Microdureza Vickers

Os ensaios de microdureza foram realizados nas faces planas dos corpos de prova aplicando uma carga de 25g ($\text{HV}_{0,025}$). A carga foi selecionada para evitar a incidência de trincas superficiais devido à baixa ductilidade do material. Foram traçados perfis de microdureza respeitando-se a distância entre impressões de 1,5 vezes a diagonal de impressão.

O durômetro foi direcionado sob as regiões nas quais se concentravam as fases de carbeto de nióbio formado após a sinterização.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Dilatometria

Para a determinação da temperatura de sinterização das amostras, foi realizado o ensaio de dilatometria. O gráfico obtido é apresentado na Fig. (1). Neste pode-se observar que o menor pico de densidade encontrado foi de $1277,7^\circ\text{C}$, para o cermet FeNbC – 25% Fe. Este valor representa a temperatura máxima de sinterização, pois a partir deste a densidade começa a cair novamente, representando o início do processo de sinterização. Com isto, foi estimado um valor para a temperatura máximo do forno de 1350°C , o que é um valor adequado dentro da faixa de sinterização.

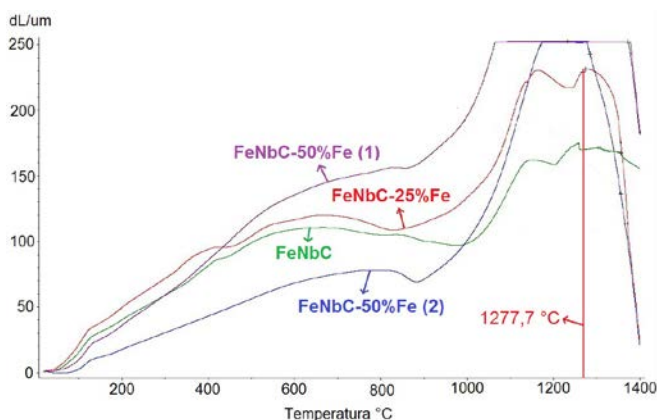
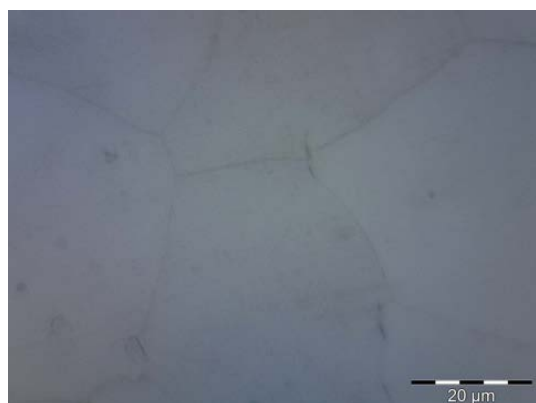


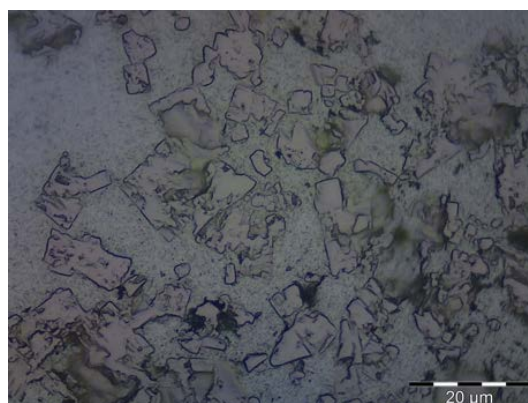
Figura 1. Curva de dilatação em função da temperatura para as amostras de cermets FeNbC, FeNbC – 25%Fe, FeNbC – 50%Fe.

3.2 Metalografia

A microestrutura das amostras é apresentada na Fig. (2), evidencia-se que a adição de Fe dissolveu e dispersou os carbonetos de nióbio, caracterizados por suas formas poligonais. As micrografias foram obtidas pela preparação metalográfica das amostras e ataque químico com Nital 3%. É possível observar claramente os contornos de grão formados na amostra de ferro puro, Fig. (2.a). Isso sugere uma boa união dos particulados metálicos. Nas amostras de FeNbC, começa-se a notar a presença de particulados que se distingue pela morfologia poligonal, isto pode ser observado na Fig. 2 (b), (c) e (d). Pelos resultados de difração de raios-X, sugere-se que estes particulados sejam carbonetos de nióbio. Também se nota que na amostra obtida com FeNbC, Fig. (2.d), estes particulados aparecem em maior número.



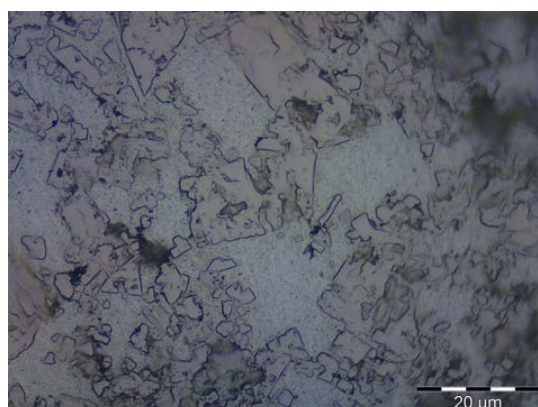
a) Fe



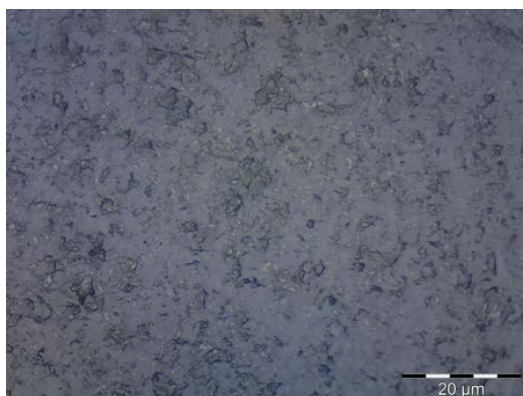
b) FeNbC + 25% Fe



c) FeNbC + 50% Fe



d) FeNbC



e) TiC

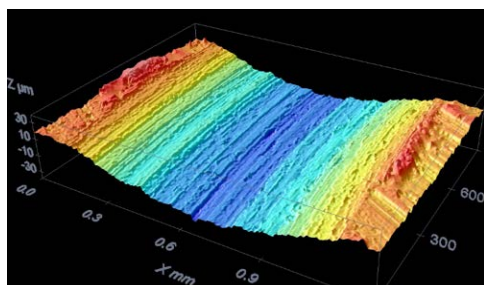
Figura 2. Metalografias representativas do Fe, FeNbC e TiC, superfície polida, ataque químico Nital a 3%. Ampliação padronizada de 1000 vezes.

No carbeto de titânio, Fig. (2.e), pode-se notar o aparecimento dos carbonetos, com tamanho reduzido. Isso indica que no processo de fabricação deste inserto, o particulado utilizado apresentava uma granulometria muito baixa.

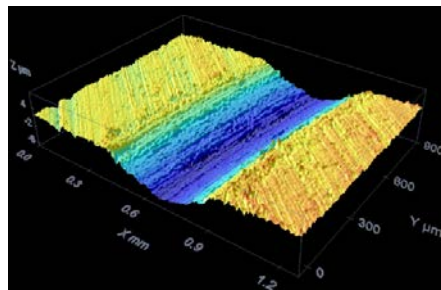
As microestruturas apresentadas na Fig. (2) demonstram diferenças microestruturais consideráveis entre si. Especialmente entre as amostras de FeNbC evidencia-se a formação de carbeto na forma poligonal, enquanto que na amostra de TiC o carbeto se apresenta em forma mais regular. Em estudo a respeito de desgaste mostra-se que quando carbeto se precipitam em formato esférico não há uma grande concentração de tensões na região de interface com a matriz, ao contrário do que normalmente ocorre com os carbeto de forma poligonal, resultando no aumento da resistência ao desgaste abrasivo, devido à diminuição da ocorrência de fraturas de carbeto, evidenciado por Yaer et al (2008). Desta forma atestam-se os valores apresentados de volume de material removido superiores do FeNbC comparativamente ao TiC. Sugere-se que a morfologia poligonal do carbeto de nióbio promove grande tendência à concentração de tensões, o que limita sua resistência ao desgaste.

3.3 Perfil de Desgaste

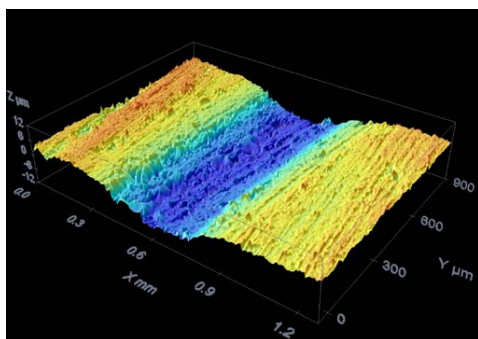
Na análise de microscopia confocal, Fig. (3), pode-se observar que em todas as situações houve a presença de riscos/sulcos na trilha de desgaste caracterizando desgaste abrasivo. A largura da trilha pode ser observada que para amostras de ferro carbeto de nióbio (b), (c), (d) todas apresentaram largura equivalente, assim como a amostra do carbeto de titânio (e). Contudo a pista de desgaste da amostra de ferro puro, como era esperado, apresentou largura de pista maior comparativamente.



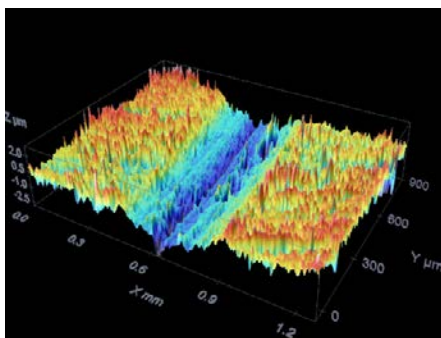
b) FeNbC + 50 % Fe



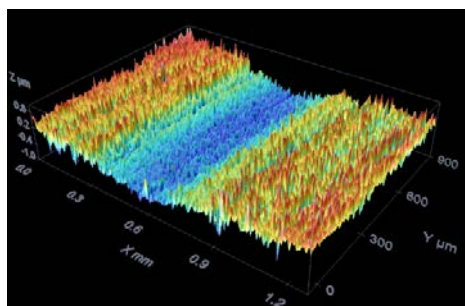
a) Fe



c) FeNbC + 25 % Fe



d) FeNbC



e) TiC

Figura 3. Microscopia Confocal das trilhas das amostras. a) Fe; b) FeNbC +50% Fe; c) FeNbC + 25 % Fe; d) FeNbC; e) TiC.

A Figura (4) revela que a análise DRX das trilhas, a qual permitiu confirmar que não houve deposição de material do pino, esfera de alumina, sobre a pista das amostras do ferro carbeto de nióbio. Tal condição sugere que a resistência mecânica do ferro carbeto de nióbio apresenta resultado satisfatório em relação à resistência ao desgaste.

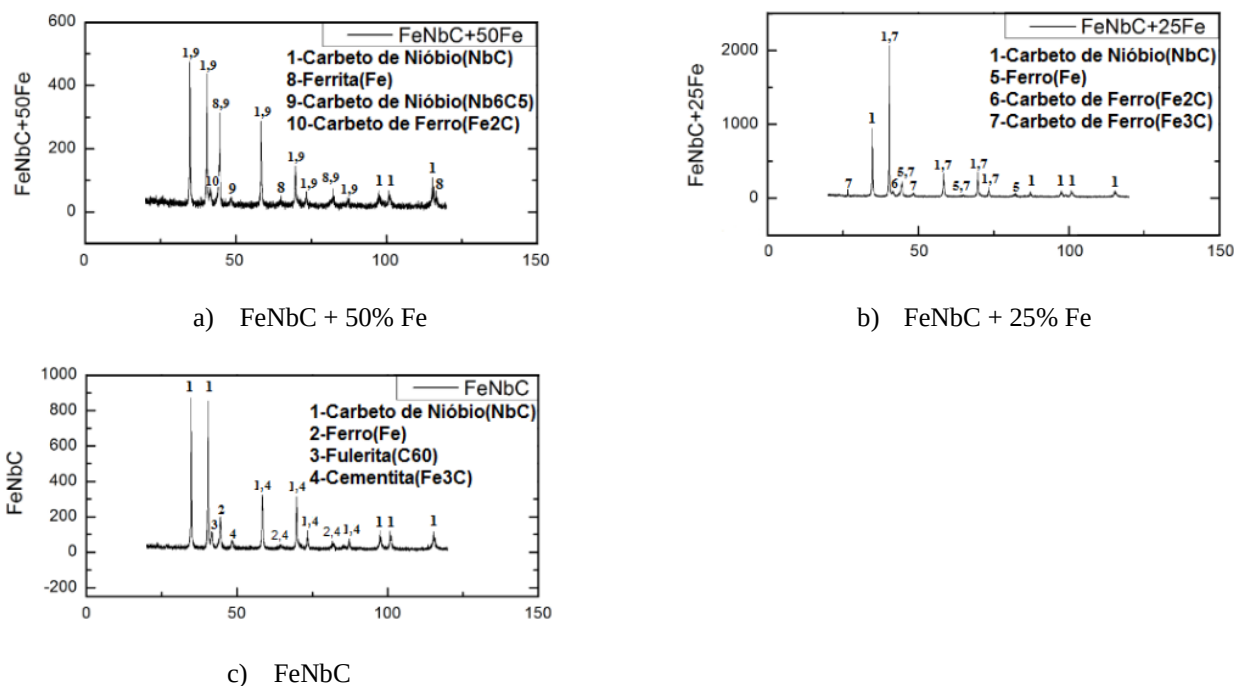


Figura 4. Espectro da trilha de desgaste das amostras. a) FeNbC + 50% Fe; b) FeNbC + 25% Fe; c) FeNbC

3.4 Microdureza

Os resultados da Microdureza Vickers HV0,025, são apresentados na Fig. (5). Nota-se que há um crescimento da microdureza quando o FeNbC é misturado ao ferro. Há uma tendência no crescimento da dureza conforme maior é o percentual do FeNbC. Sugere-se que o incremento de ferro na matriz do cermet a base de nióbio possibilitou o incremento na ductilidade do material, evidenciado pela redução no valor da microdureza. Na amostra apenas com FeNbC, as microdurezas obtidas ficaram muito próximas à encontrada na literatura para o carbeto de nióbio, 2400 HV, conforme observado por Lee et al (1998).

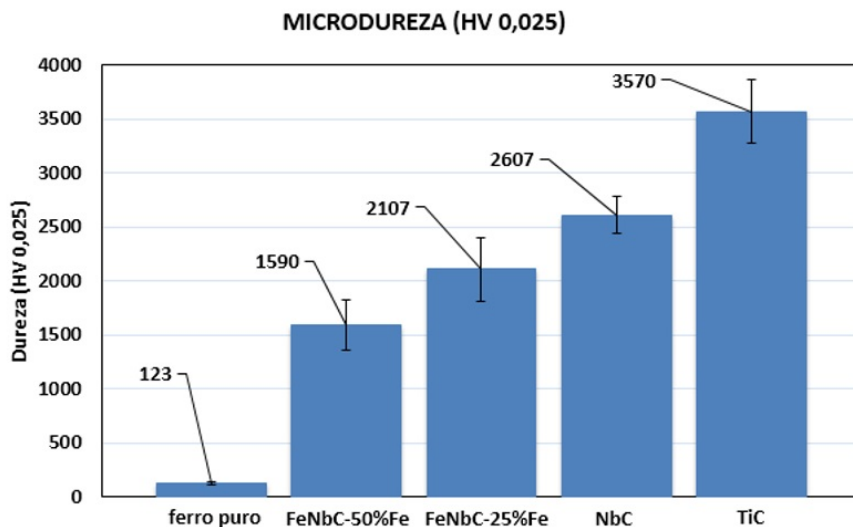


Figura 5. Microdureza obtida nas amostras de Fe; FeNbC; TiC

3.5 Coeficiente de Atrito

O valor do coeficiente de atrito médio obtido nos ensaios de deslizamento para as amostras de cermets FeNbC e TiC se mostraram equivalentes. Contudo a amostra de ferro puro apresentou reduzido coeficiente de atrito se comparado com as demais amostras. O valor médio do coeficiente de atrito foi obtido após o regime permanente, sendo caracterizado pela estabilização do coeficiente de atrito. Os valores apresentados na Fig. (6) são referentes a média de cinco ensaios. Desta forma observa-se que o tipo do cermet não influenciou nos resultados do coeficiente de atrito.

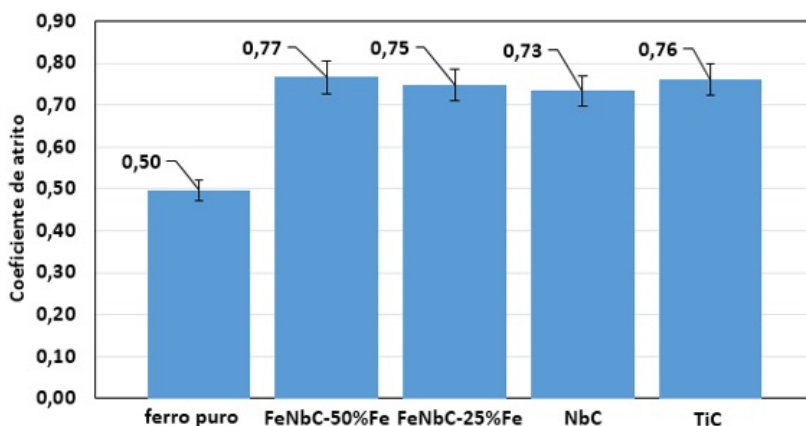


Figura 6. Resultados do coeficiente de atrito para os cermets FeNbC, TiC e Ferro puro.

3.6 Volume de Material Removido

Ao obter área do perfil de desgaste, com o perímetro da pista de desgaste foi possível quantificar o volume de material removido. A Fig. (7) apresenta os resultados do volume de material removido de cada um dos materiais analisados. Pode-se perceber um volume de material removido muito alto, em relação às demais amostras, para o ferro puro, uma média de 0,6628 mm³. Quando o ferro é adicionado ao FeNbC, a um percentual de 50% em massa, houve um grande salto na resistência ao desgaste. O volume de material removido com esta composição é reduzido para um valor médio de 0,1366 mm³, ou seja, uma redução de quase 80% em relação ao ferro puro. O aumento no percentual de FeNbC, de 50% para 75% formando a amostra FeNbC – 25% Fe, para este caso não se percebeu uma significativa alteração na resistência ao desgaste. A média do volume de material removido no FeNbC – 25% Fe foi de 0,1373 mm³. Portanto, não houve diferença significativa na resistência ao desgaste nestes dois materiais.

A amostra de FeNbC, em que não houve nenhuma adição de ferro, apresentou uma resistência ao desgaste muito superior às observadas nas amostras em que o ferro foi adicionado. Como se observa na Fig. (7) o volume de material removido para esta amostra foi de 0,0385 mm³.

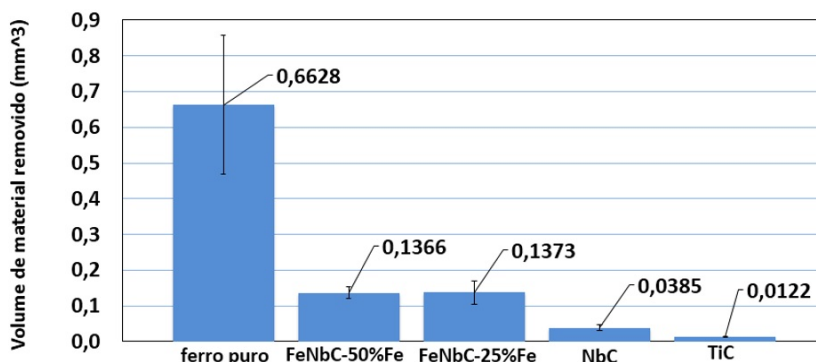


Figura 7. Volume de material removido nas amostras de FeNbC, TiC e Fe, após ensaio de pino sobre disco.

No inserto comercial de carbeto de titânio, amostra TiC, o volume de material removido foi de 0,0122 mm³. Se comparado essa amostra com o FeNbC houve uma redução de aproximadamente 68% no volume de material removido. Acredita-se que esse elevado desempenho se deva à maior dureza do carbeto de titânio, em comparação ao carbeto de

nióbio. Outro fator que pode ter influenciado nessa diferença observada, é a utilização uma matriz metálica formada por outro metal que poderia proporcionar a formação de uma fase líquida na sinterização. Isso representa uma redução maior da porosidade o que possivelmente representa um aumento da resistência ao desgaste.

4. CONCLUSÕES

O procedimento adotado para a sinterização do ferro carbetto de nióbio, puro ou misturado a diferentes concentrações de ferro mostrou-se eficiente evidenciado pelos resultados de microdurezas. A microdureza do FeNbC apresentou valor em torno de 2600 HV, resultado similares aos observados nas referências bibliográficas, e com uma boa distribuição do carbetto de nióbio pela matriz, como se pode observar na metalografia das amostras.

A adição do carbetto de nióbio, a uma proporção de 50% em massa, reduziu a média do volume de desgaste de 0,6628 mm³ no ferro puro, para 0,1368 mm³, na amostra FeNbC – 50%Fe, uma redução de 80%.

As amostras FeNbC – 50%Fe e FeNbC – 25%Fe não apresentaram nenhuma diferença significativa no volume de material removido. Desta forma conclui-se que o aumento percentual da concentração mássica do ferro no carbetto de nióbio não representou vantagem no que se refere ao incremento na resistência ao desgaste.

Os resultados de desgaste foram melhores nas amostras de ferro carbetto de nióbio sem adição de ferro. O volume de material removido passou de 0,1366 e 0,1373 mm³, para as amostras de FeNbC – 50%Fe e FeNbC – 25%Fe respectivamente, para 0,0385 mm³ no FeNbC. Assim, o desgaste nas amostras com ferro misturado ao carbetto de nióbio foi aproximadamente 3,5 vezes maior do que nas amostras sem adição de ferro.

O FeNbC ainda apresentou uma resistência ao desgaste próxima aquela apresentada pelo inserto de carbetto de titânio.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro do IFSC por meio Edital N° 05/2015/PROPPI, à Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração – CBMM, pela doação do cermet, à Seco Tools pela disponibilidade na doação do inserto de carbetto de titânio, e a UDESC que tornou possível esta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Amriou, T., Boufhafs, B., Aourag, H., Khelifa, B., Bresson, S. and Mathieu, C., 2003, “FP-LAPW Investigations of electronic structure and bonding mechanism of NbC and NbN compounds”, *Physica B*, Vol. 43, pp 325-329.
- Araujo Filho, O.O. DE, Neves, M.D.M., Gonzalez, C.H., Urtiga Filho, S.L. and Ambrozio Filho, F., 2010, “Processing of AISI M2 HSS with addition of NbC by mechanical alloying using two different types of attritor mills”, *Material Science Forum*, Vol. 660-661, pp. 17-22.
- ASTM G99-05, 2010, “Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus”. American Society for Testing and Materials. ASM Society: United States, 5 p.
- Cremonezi, A., Klein, A. N., Loberto, A., Rodrigues, D. and Filho, D.T. DE A. F., 2009, “A metalurgia do pó: alternativa econômica com menor impacto ambiental”, Ed. Metallum Eventos Técnicos e Científicos, São Paulo, Brazil, 320 p.
- Franco, E., 2015, “Desenvolvimento de cermets e recobrimentos a base de nióbio para aplicação em ferramentas”, Tese de Doutorado, Universidade do Estado de Santa Catarina.
- Gordo, E., Gomez, B., Gonzalez, R. and Ruiz-Navas, E.M., 2007, “Study for the development of Fe-NbC composites by advanced PM techniques”, *Materials Science Forum*, Vol. 536, pp. 637-640.
- Gordo, E., Gómez, B., Ruiz-Navas, E. and Torralba, J.M., 2008, “Response to heat treatments of Fe-TiCN composites”, *Word Congress on Powder Metallurgy & Particulate Materials*. Anais... p. 120-130.
- Gordo, E., Velasco, F., Martinez, M.A and Torralba, J.M., 2002, “Influencia de las adiciones de TaC y NbC en las propiedades de los aceros rapidos pulvimetalurgicos M3/2”, *Revista de Metalurgia*, Vol. 38, pp. 83-93.
- Kano, J., Sato, N., Suzuki, S., Saito, F. and Sugimoto, H., 2009, “Synthesis of niobium carbides from ferroniobium by mechanochemical method”, *International Iron and Steel Institute of Japan*, Vol. 49, pp. 458-462.
- Klein, A. N., Martinelli, A. E., Nascimento, M., Candice, B. and Guedes, D. F., 2011, “Microstructural characterization of conventionally and plasma-sintered Fe-NbC and Fe-TaC composites”, *Powder Metallurgy*, Vol. 47, pp. 29-37.
- Lee, P. W., Trudel, Y. and Iacocca, R., 1998, “Powder metallurgy cermets and cemented carbides”, *Handbook Powder Metal Technologies and applications*. ASM International, pp. 2312–2355.
- Martinelli, A.E., Paulo, D.S.A. and Nascimento, R. M., 2006, “Dilatometric behavior and microstructure of sintered Fe-NbC and Fe-TaC composites”, *Materials Science*, Vol. 42, pp. 314-319.
- Official Journal of the European Union. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriSev/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:235:0001:0439:en:PDF>> . Acesso em 15/3/2016
- Services, U.S. Dept. of Health and Human. Disponível em: <<http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/twelfth/profiles/CobaltTungstenCarbide.pdf>> Acesso em 08/2/2016

- Silva, V. C., 2003, “Obtenção de compósitos de matriz metálica através da adição de TiCN e WC na base de HSS tipo M2 via metalurgia do pó”, Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado de Santa Catarina.
- Sustarsic, B., Jenko, M., Godec, M. and Kosec, L., 2003, “Microestrutural investigation of NbC-doped vacuum-sintered tool steel based composites”, *Vaccum*, pp. 71-77
- Yae, X., Shimizu, K., Matsumoto, H., Kitsudo, T. and Momono, T., 2008, “Erosive wear characteristics of spheroidal carbides cast iron”, *Wear*, Vol. 264, pp. 947-957
- Woydt, M., Mohrbacher, H., 2015, “The use of niobium carbide (NbC) as cutting tools and for wear resistant tribosystems”, *Refractory Metals and Hard Materials*, Vol. 49, pp. 212-218.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

WEAR RESISTANCE OF CERMET NIOBIUM CARBIDE BASE IRON

Ivandro Bonetti, ivandro@ifsc.edu.br¹

Eliana Franco, efeliana.franco@gmail.com²

Fernando Demboski, fernandodemboski@gmail.com³

César Edil da Costa, cesar.edil@udesc.br⁴

Júlio César Giubilei Milan, julio.milan@udesc.br⁵

¹Instituto Federal de Educação de Santa Catarina - IFSC, Pavão street, 1377 – district: Costa e Silva – Joinville/SC - Brazil

^{2,3,4,5}Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Centro de Ciências Tecnológicas – CCT / Paulo Malschitzki street, s/n - Campus Universitário Prof. Avelino Marcante – district: Zona Industrial Norte – Joinville/SC - Brazil

Abstract. *There has been a favorable growth trend on the usage of niobium carbide in industrial applications. This trend is specially seen in applications related to steel tool microstructural reinforcement that seek increase in hardness and wear resistance. It is characterized by its high melting point and hardness, as well for having significant thermal stability and chemical inertness. The goal of this work was to evaluate the viability of iron-niobium carbide cermet sintering with regard to the wear resistance. The volume of wear from test bodies of pure iron, iron-niobium and a commercial insert of titanium low levels of porosity resultant from the sintering stage, even when compared to the percentage variation of iron in the iron-niobium carbide matrix, attesting the good dispersion of the particulate. The microhardness obtained for iron-niobium carbide was 2600 HV, which is close to values reported in the literature for this material. The volume of material worn was measured by confocal microscopy, the results have indicated that the variation of iron carbide in percentage showed no significant changes in the worn volume. On the other hand, the iron-niobium carbide without iron addition had an average reduction of 72% in wear volume when compared to the samples with addition of iron in the matrix. The results have indicated a closeness in wear volume values between titanium carbide and carbide niobium. This suggest that the iron-niobium carbide is efficient when applied to conditions where resistance is a priority requirement on design.*

Keywords: *Niobium carbide iron, cermet, powder metallurgy, sliding wear.*