



SINERGISMO ENTRE “NÍVEL DE CONCENTRAÇÃO”, “TIPO DE PARTÍCULA MICRO-ABRASIVA” E “TIPO LÍQUIDO” DE LAMAS MICRO-ABRASIVAS NO COMPORTAMENTO AO DESGASTE MICRO-ABRASIVO DA LIGA INTERMETÁLICA Fe-30Al-6Cr (at.%) – PARTE II: VOLUME DE DESGASTE

Angel Felipe Magnossão de Paula^a, Doris Feijó Leão Borges^b, Marcelo de Matos Macedo^c, Samuel Monteiro Júnior^d, Gleisa Pitareli^e, Muradiye Şahin^f, Vikas Verma^g, Bader Shafaqa Al-Anzi^h, Carlos Roberto Luna-Domínguezⁱ, Jorge Humberto Luna-Domínguezⁱ, Cláudio Geraldo Schön^j, Ronaldo Câmara Cozza^{e,*}

^a *Universitat Politècnica de València
Pattern Recognition and Human Language Technology – PRHLT Research Center*

^b *IFES – Instituto Federal do Espírito Santo
Coordenadoria de Mecânica – Campus Vitória*

^c *UFABC – Universidade Federal do ABC
Departamento de Engenharia de Materiais*

^d *FMU – Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas
Departamento de Engenharia Mecânica*

^e *CEETEPS – Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”
Faculdade de Tecnologia de Mauá – FATEC-Mauá, Departamento de Fabricação Mecânica*

^f *Kırşehir Ahi Evran University
Department of Chemistry, Turkey*

^g *Aqila Technologies and Integration Solutions Private Limited
Department of Aerospace Design & Operations – India*

^h *Kuwait University
College of Life Sciences, Environmental Sciences – Kuwait*

ⁱ *Universidad Autónoma de Tamaulipas
Facultad de Odontología – México*

^j *USP – Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais*

* Av. Antônio Rosa Fioravante, 804 – 09390-120 – Mauá, SP.
ronaldo.cozza@fatec.sp.gov.br

RESUMO

Atualmente, os engenheiros observam, minuciosamente, a importância dos materiais intermetálicos em aplicações metalúrgicas e mecânicas. Com isso, o objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento do volume de desgaste da liga intermetálica Fe-30Al-6Cr (at.%) – estado “as cast”, sob ação de micro-abrasão. O contra-corpo foi uma esfera de aço-rolamento AISI 52100 de diâmetro de 25,4 mm e as lamelas micro-abrasivas foram preparadas com partículas micro-abrasivas de alumina – Al₂O₃ ou carbeto de silício preto – SiC e água destilada ou glicerina, em quatro possíveis combinações: “Al₂O₃ + H₂O destilada”, “Al₂O₃ + glicerina”, “SiC + H₂O destilada” e

“SiC + glicerina”. Para uma condição de força normal constante junto a diferentes níveis de concentrações de lamas micro-abrasivas e distâncias de deslizamento, foi delineado um experimento fatorial. Os resultados obtidos mostraram que o volume de desgaste aumentou com o aumento da concentração da lama micro-abrasiva, independentemente do tipo de partícula micro-abrasiva e do tipo de líquido. Mas, enfatiza-se que, as lamas micro-abrasivas preparadas com SiC e água destilada proporcionaram os maiores volumes de desgaste, quando comparados aos volumes de desgaste reportados sob o uso das lamas micro-abrasivas preparadas com Al_2O_3 e glicerina.

Palavras-chave: Ligas intermetálicas, desgaste micro-abrasivo, volume de desgaste.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os vários tipos de compostos intermetálicos existentes, os pesquisadores tem-se focado, principalmente, nas ligas de materiais intermetálicos baseados em FeAl, Fe_3Al , NiAl, Ni_3Al e TiAl⁽⁴⁾. Contudo, atualmente, os materiais intermetálicos estudados com maior frequência são aqueles que contêm aluminetos de ferro – FeAl e Fe_3Al – visto que estes materiais intermetálicos apresentam propriedades metalúrgicas e mecânicas muito atrativas industrialmente, como, por exemplo, boa ductilidade, baixa densidade, significativa resistência à oxidação, significativa resistência à corrosão e boa tensão limite de escoamento, quando comparados com outros materiais metálicos específicos direcionados às mesmas aplicações mecânica-metalúrgicas⁽²⁾.

Sob uma visão ampla, a performance ao desgaste micro-abrasivo de um material intermetálico depende, basicamente, dos seguintes parâmetros físicos de controle: i) *força normal atuante sobre o sistema tribológico*^(3,4), ii) *concentração de partículas micro-abrasivas presentes entre os materiais envolvidos*^(3,4), iii) *distância de deslizamento entre “corpo” e “contra-corpo”*⁽⁵⁻⁷⁾, iv) *características físicas – dureza, forma e tamanho – das partículas micro-abrasivas*^(4,8) e v) *viscosidade do fluido que envolve as partículas micro-abrasivas*^(9,10).

As características físico-mecânicas das partículas micro-abrasivas – “dureza”, “forma” e “tamanho” – apresentam importante papel no desgaste micro-abrasivo de materiais, além do próprio tipo de material sujeito a esta avaria^(4,11,12).

Considerando-se a “dureza” das partículas micro-abrasivas envolvidas no processo tribológico, assim como o próprio nível de dureza do material submetido ao desgaste micro-abrasivo, esta característica físico-mecânica rege, de forma

contundente, a magnitude com que o corpo sofre o dano tribológico⁽¹³⁾ – em termos práticos, quanto maior a dureza das partículas micro-abrasivas, maior o nível de desgaste gerado sobre a superfície do material.

Em relação a “*forma*” das partículas micro-abrasivas, mostra-se que, enquanto partículas micro-abrasivas com geometrias “arredondadas” ocasionam valores de volumes de desgaste relativamente baixos, formas geométricas “pontiagudas” proporcionam maiores volumes de material desgastado. Este comportamento pode ser explicado pela contextualização de que, partículas micro-abrasivas com geometrias arredondadas, ao realizarem os movimentos cinemáticos de “*translação*” ou “*translação + rotação*” em contato direto com o material exposto ao processo de desgaste micro-abrasivo, causam um dano tribológico de grau qualitativo/quantitativo relativamente baixo, quando comparado ao dano gerado por partículas micro-abrasivas de geometria pontiaguda.

Sobre o “*tamanho*” das partículas micro-abrasivas, a literatura mostra que, até um determinado valor, o aumento do tamanho das partículas micro-abrasivas ocasiona a ascensão da quantidade de material desgastado^(14,15). Entretanto, a partir de um determinado valor de tamanho de partícula micro-abrasiva, a perda de material torna-se constante e independente do tamanho das partículas micro-abrasivas.

Outro parâmetro de considerável significância tribológica no comportamento ao desgaste micro-abrasivo de um material é a viscosidade do fluído que envolve as partículas micro-abrasivas durante o processo de desgaste – é relatado que fluídos com maior viscosidade ocasionam menores quantidades de material desgastado^(9,10). Para este comportamento, é advogado que, fluídos com maior viscosidade ocasionam menores valores de coeficiente de atrito e, por consequência, menores valores de volumes de desgaste⁽¹⁰⁾ e coeficientes de desgaste, também⁽⁹⁾.

Na literatura científica, há uma ampla disponibilização de pesquisas publicadas envolvendo o comportamento tribológico de ligas intermetálicas contendo aluminetos de ferro^(10,16-19). Entretanto, a análise do comportamento ao desgaste de tais materiais, sob diferentes condições tribológicas de micro-abrasão é escassa. Com isso, conhecendo-se a importância que as ligas contendo aluminetos de ferro representam para aplicações/trabalhos mecânico-metalúrgicos, a abordagem do presente trabalho alinha-se à análise tribológica comportamental do volume de desgaste da liga intermetálica Fe-30Al-6Cr (at.%), sob alteração combinatória das variantes da lama micro-abrasiva: “*concentração*”, “*tipo de partícula micro-abrasiva*” e “*tipo de líquido*”.

2. MATERIAIS, TIPO DE ENSAIO DE DESGASTE & TRIBÔMETRO, PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E AQUISIÇÃO DE DADOS

2.1. Materiais

O material intermetálico fabricado – Fe-30Al-6Cr (at.%) – possui composição química definida em 14,14% Al, 4,95% Cr, 0,75% Mo, 0,66% C e 78,57% Fe – % em massa. As Figuras 1a e 1b apresentam imagens microestruturais da liga intermetálica abordada, consistindo de uma matriz de aluminetos reforçada por uma contínua rede de carbeto de cromo eutéticos nas regiões interdendríticas.

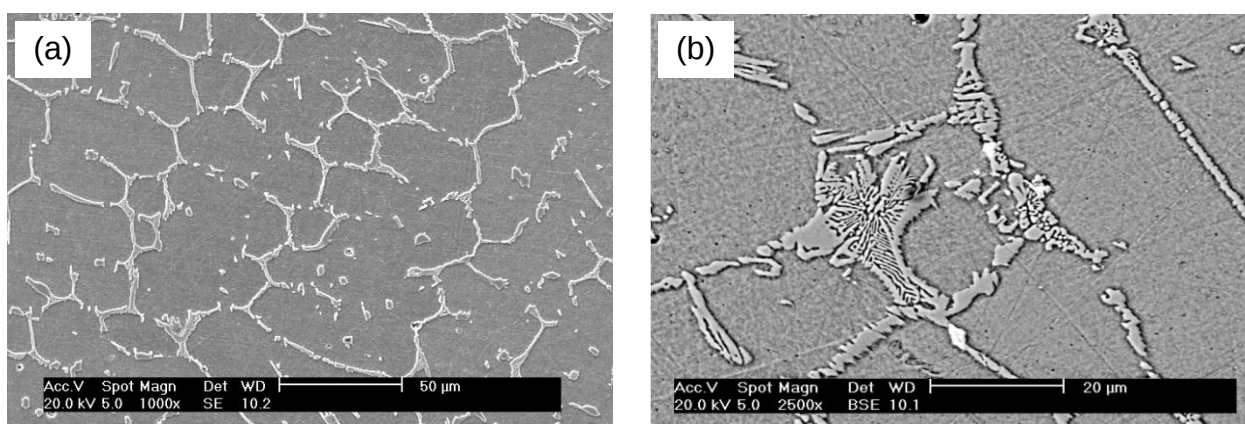


Figura 1. (a)-(b) Microestrutura da liga intermetálica Fe-30Al-6Cr (at.%).

O contra-corpo foi uma esfera de aço-rolamento AISI 52100, de diâmetro $D = 25,4$ mm ($D = 1$ " – diâmetro padronizado).

As lamelas micro-abrasivas foram preparadas com partículas micro-abrasivas de alumina (Al_2O_3) ou carvão de silício preto (SiC), junto com água destilada (AD) ou glicerina (G), delineadas em quatro possíveis combinações: i) " Al_2O_3 + água destilada", ii) " Al_2O_3 + glicerina", iii) "SiC + água destilada" e iv) "SiC + glicerina".

A alumina (Al_2O_3) possui tamanho médio de partícula de $a_p = 6,5$ μm e formato de caráter arredondado; por sua vez, o carvão de silício preto (SiC) possui tamanho médio de partícula de $a_p = 3$ μm e formato pontiagudo. A Figura 2a mostra uma imagem das partículas micro-abrasivas de Al_2O_3 e a Figura 2b apresenta uma imagem das partículas micro-abrasivas de SiC, ambas obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV.

A Tabela 1 apresenta os valores de dureza (H) da liga intermetálica Fe-30Al-6Cr (at.%), da esfera de ensaio e dos materiais micro-abrasivos.

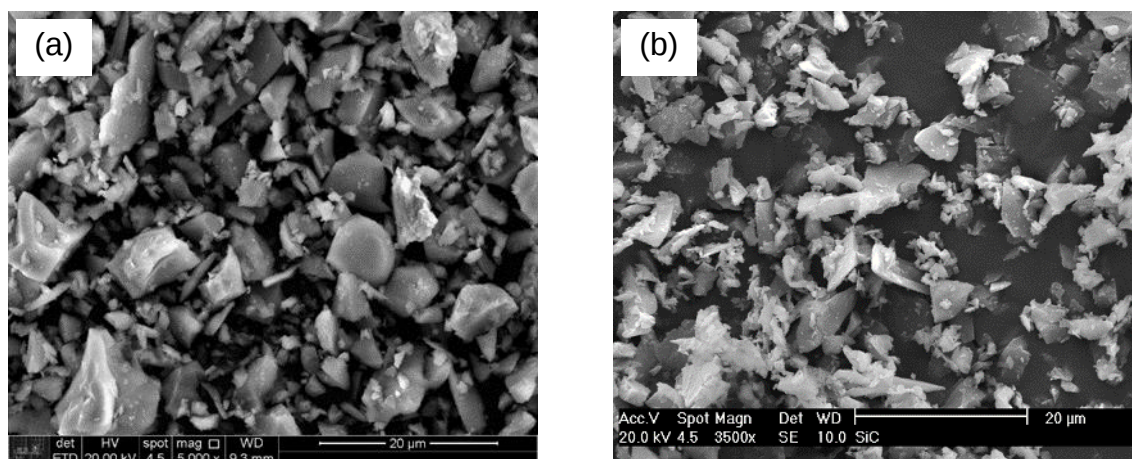


Figura 2. Imagens obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV: (a) Partículas micro-abrasivas de Al_2O_3 e (b) partículas micro-abrasivas de SiC.

Tabela 1. Dureza dos materiais utilizados neste trabalho.

Material		Dureza – H [HV]
Liga intermetálica	Fe-30Al-6Cr (at.%)	382
Esfera de ensaio	Aço-rolamento AISI 52100	856
Partículas micro-abrasivas	Alumina – Al_2O_3	682 – 753
	Carbeto de silício preto – SiC	2380 – 2630

2.2. Tipo de Ensaio de Desgaste, Tribômetro & Parâmetros Experimentais

Para a condução dos ensaios de desgaste micro-abrasivo foi utilizada a técnica tribológica “*ball-cratering*”. Neste trabalho, foi adotado um equipamento de ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa de configuração mecânica “*esfera-livre*” (Figura 3).



Figura 3. Equipamento de ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa de configuração mecânica “*esfera-livre*”, utilizado nos ensaios tribológicos deste trabalho.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros de ensaio estabelecidos para a realização dos experimentos tribológicos conduzidos nesta pesquisa.

Tabela 2. Condições tribológicas definidas para os ensaios “*ball-cratering*” de micro-abrasão.

Parâmetro de ensaio	Valor	
Força normal [N]	N	0,4
Composição de lama micro-abrasiva (em volume)	C_1	5% Al_2O_3 + 95% água destilada
	C_2	5% Al_2O_3 + 95% glicerina
	C_3	5% SiC + 95% água destilada
	C_4	5% SiC + 95% glicerina
	C_5	50% Al_2O_3 + 50% água destilada
	C_6	50% Al_2O_3 + 50% glicerina
	C_7	50% SiC + 50% água destilada
	C_8	50% SiC + 50% glicerina
Rotação da esfera de ensaio [rpm]	n	70
Velocidade tangencial da esfera de ensaio [m/s]	v	0,093
Tempo de ensaio [min]	t_1	1
	t_2	2
	t_3	4
Distância de deslizamento [m]	S_1	5,6
	S_2	11,2
	S_3	22,4

A força normal (N) definida para os experimentos de desgaste foi $N = 0,4$ N, junto a oito possíveis composições de lamas micro-abrasivas (C), sendo diferenciadas em função do tipo de partícula micro-abrasiva – alumina (Al_2O_3) ou carbetto de silício preto (SiC), tipo de líquido constituinte – água destilada (AD) ou glicerina (G), porcentagem volumétrica de partículas micro-abrasivas e líquido que compõem cada uma das misturas tribológicas, conforme as composições C_1 , C_2 , ..., C_7 e C_8 .

A rotação da esfera de ensaio foi fixada em $n = 70$ rpm e, junto a um diâmetro de $D = 25,4$ mm ($R = 12,7$ mm – raio da esfera), a velocidade tangencial da mesma ficou em $v = 0,093$ m/s.

Três tempos de ensaio (t) foram definidos – $t_1 = 1$ min, $t_2 = 2$ min e $t_3 = 4$ min que, sob o valor da velocidade tangencial da esfera de ensaio de $v = 0,093$ m/s, foram calculados os correspondentes valores de distâncias de deslizamento (S), quantificados em $S_1 = 5,6$ m, $S_2 = 11,2$ m e $S_3 = 22,4$ m, respectivamente.

Depois que todos os valores de força normal (N), composições de lamas micro-abrasivas (C) e distâncias de deslizamento (S) foram estabelecidos, vinte e quatro possíveis combinações entre “ N ”, “ C ” e “ S ” foram delineadas. Então, para cada combinação de “ $N + C + S$ ” – nomeadas de *Combinação 1*, *Combinação 2*, *Combinação 3*, ..., *Combinação 22*, *Combinação 23* e *Combinação 24*, três experimentos foram conduzidos para cada valor de distância de deslizamento (S), definindo-se a seguinte sequência de ensaios, em função de S : $5,6 \Rightarrow 5,6 \Rightarrow 22,4 \Rightarrow 11,2 \Rightarrow 11,2 \Rightarrow 22,4 \Rightarrow 22,4 \Rightarrow 11,2 \Rightarrow 5,6$ [m] – esta ordenação foi estabelecida por sorteio.

No total, setenta e dois (72) ensaios de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa foram realizados. Todos os experimentos tribológicos foram conduzidos sem interrupção e a lama micro-abrasiva foi, continuamente, agitada e gotejada entre a esfera de ensaio e o corpo-de-prova, durante as execuções experimentais.

2.3. Aquisição de dados e análise de resultados

Ao final dos experimentos tribológicos, todas as crateras de desgaste geradas foram analisadas por Microscopia Óptica.

Subsequentemente, para medir os diâmetros (d) das crateras de desgaste, as imagens geradas, inicialmente por Microscopia Óptica, foram transferidas para um software de CAD, pelo qual os diâmetros das mesmas foram analisados e quantificados. Então, com os valores de “ d ”, o volume (V) de cada cratera de desgaste foi calculado pela Equação 1.

$$V \approx \frac{\pi d^4}{64R} \quad \text{para } d \ll R \quad (1)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Obtenção do Regime Permanente de Desgaste – RPD

Em ensaios “*ball-cratering*”, a obtenção do Regime Permanente de Desgaste é importante porque todos os fenômenos inerentes a esta metodologia tribológica enquadram-se dentro da fundamentação teórica embasada na literatura^(3-6,20,21), *i.e.*, eles não divergem para a aleatoriedade, sendo gerada, conseqüentemente, uma previsibilidade comportamental tribológica. Portanto, sob esta condição tribológica,

tem-se resultados de reprodutibilidade e confiança estatística, fazendo-se com que os mesmos possam ser analisados e discutidos de forma precisa.

Com isso, a análise e discussão de resultados desta pesquisa científica inicia-se pelo estudo da obtenção do “*Regime Permanente de Desgaste – RPD*” nos ensaios “ball-cratering” realizados, em que as Figuras 4 e 5 apresentam os gráficos do volume de desgaste (V) em função da distância de deslizamento (S) – $V = f(S)$, para as diferentes composições de lamas micro-abrasivas ($C_1, C_2, C_3, \dots, C_7, C_8$). Para uma melhor visualização e análises técnica e científica, os gráficos de $V = f(S)$ foram organizados em função da concentração de lama micro-abrasiva – $C_n = 5\%$ de material micro-abrasivo ou $C_n = 50\%$ de material micro-abrasivo; a Figura 4 refere-se as concentrações de lamas micro-abrasivas $C_n = 5\% \text{ Al}_2\text{O}_3$ e $C_n = 5\% \text{ SiC}$, enquanto que a Figura 5 compreende as curvas construídas para $C_n = 50\% \text{ Al}_2\text{O}_3$ e $C_n = 50\% \text{ SiC}$.

Analisando-se os gráficos gerados, nota-se que o volume de desgaste (V) progrediu, linearmente, em função do aumento da distância de deslizamento (S). Adicionalmente, o comportamento linear de $V = f(S)$ independeu do tipo de partícula micro-abrasiva – Al_2O_3 ou SiC , do tipo de líquido – água destilada (AD) ou glicerina (G) e da concentração da lama micro-abrasiva (C_n).

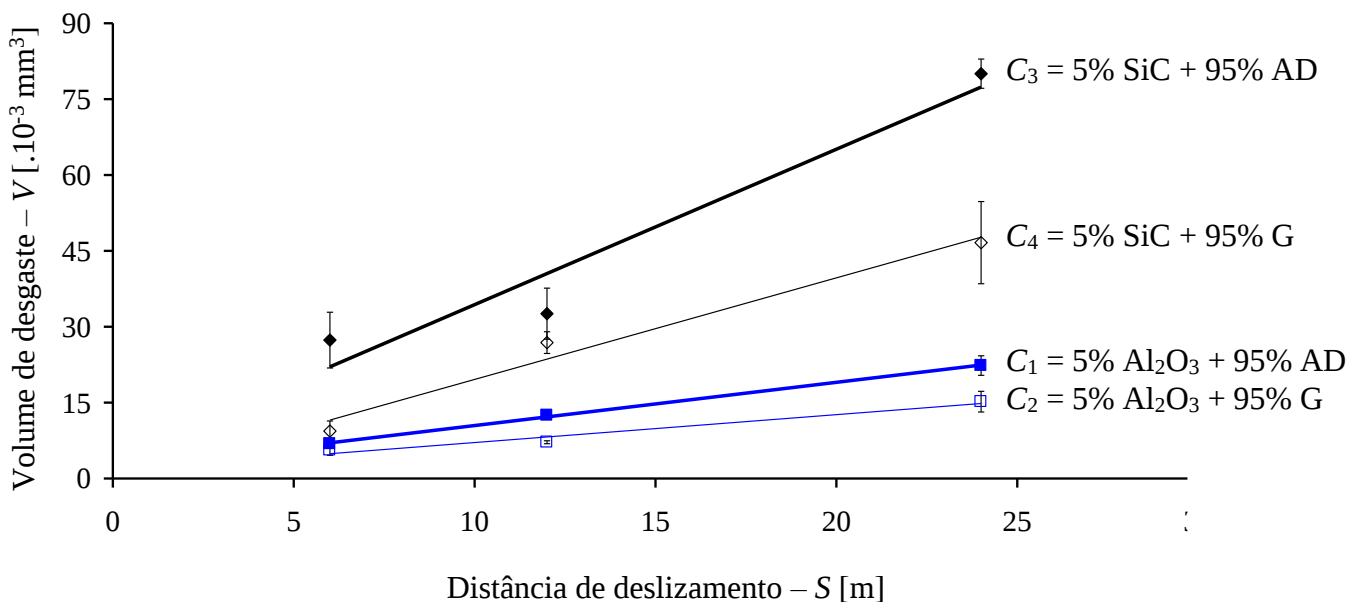


Figura 4. Comportamento linear do volume de desgaste (V) em função da distância de deslizamento (S) – $V = f(S)$, para a concentração de lama micro-abrasiva (C_n) contendo $C_n = 5\%$ de material micro-abrasivo – em volume de Al_2O_3 ou SiC .

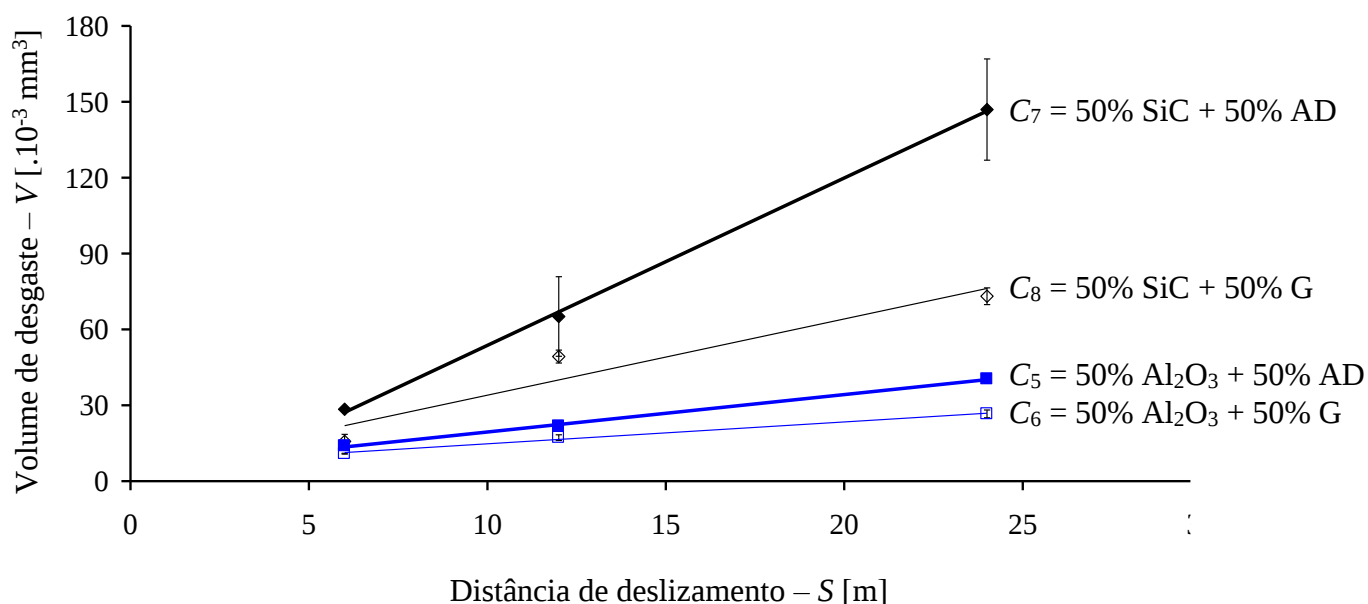


Figura 5. Comportamento linear do volume de desgaste (V) em função da distância de deslizamento (S) – $V = f(S)$, para a concentração de lama micro-abrasiva (C_n) contendo $C_n = 50\%$ de material micro-abrasivo – em volume de Al_2O_3 ou SiC.

Com isso, baseando-se no comportamento linear do volume de desgaste (V) em função da distância de deslizamento (S), conclui-se que o Regime Permanente de Desgaste (*RPD*) foi alcançado para todos os ensaios de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa conduzidos neste trabalho.

3.2. Análise comportamental do volume de desgaste (V)

O comportamento do volume de desgaste (V) será discutido com base na distância de deslizamento (S), concentração, material micro-abrasivo e líquido constituintes de cada lama micro-abrasiva.

Além da análise da obtenção do Regime Permanente de Desgaste – *RPD*, as Figuras 4 e 5 apresentaram, também, o comportamento do volume de desgaste (V) em função da distância de deslizamento (S) e da composição de lama micro-abrasiva – considerando-se concentração (C_n), partícula micro-abrasiva – Al_2O_3 ou SiC – e líquido – água destilada (AD) ou glicerina (G).

Tomando-se como referência a distância de deslizamento (S), pelas Figuras 4 e 5, observa-se que o volume de desgaste (V) aumentou com a variação crescente desta grandeza, seguindo, em concordância qualitativa, a *Lei de Archard*, na qual V é diretamente proporcional a S , como mostra a Equação 2.

$$V = k \cdot N \cdot S \quad (2)$$

Em que “*k*” é o coeficiente de desgaste, sendo possível calculá-lo pela Equação 3.

$$k = \frac{1}{N} \cdot \frac{dV}{dS} \quad (3)$$

Sob a condição tribológica de Regime Permanente de Desgaste (*RPD*), “*k*” é um valor constante – este é um dos motivos pelos quais, neste trabalho, foi tomada a precaução referente à obtenção do Regime Permanente de Desgaste (*RPD*), em todos os ensaios realizados, conforme exibido e discutido na Seção 3.1..

A ascensão do volume de desgaste (*V*) em função da distância de deslizamento (*S*) – $V = f(S)$ – é um comportamento tribológico característico em ensaios de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa, tendo sido reportado, também, na literatura científica que estudou a performance tribológica de diferentes tipos de materiais submetidos a desgaste micro-abrasivo em equipamentos de configuração mecânica “*ball-cratering*”^(3,7,15,21,22).

4. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos estudando-se o comportamento tribológico da liga intermetálica Fe-30Al-6Cr (at.%), pôde-se concluir os aspectos mencionados a seguir:

- *Quanto a obtenção do Regime Permanente de Desgaste – RPD.*

Os ensaios de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa foram, cientificamente, sistematizados tribologicamente de forma correta neste trabalho, pois todos os resultados obtidos enquadraram-se na conceitualização da obtenção do Regime Permanente de Desgaste – *RPD*. Consequentemente, os resultados apresentados puderam ser analisados e discutidos com confiança tribológica e estatística.

- *Quanto ao Volume de Desgaste.*

Pela análise de resultados, foi reportado que, fixando-se o tipo de material micro-abrasivo e o tipo de líquido, o volume desgastado na liga intermetálica Fe-30Al-6Cr (at.%) aumentou junto ao aumento da concentração da lama micro-abrasiva. Adicionalmente, fixando-se a concentração da lama micro-abrasiva e o tipo de líquido, o carbeto de silício preto ocasionou maior intensidade de desgaste ao material

intermetálico estudado, quando comparado ao nível de desgaste gerado pela alumina. Finalmente, fixando-se a concentração da lama micro-abrasiva e o tipo de material micro-abrasivo, a glicerina foi o líquido de maior capacidade para inibir o processo de desgaste micro-abrasivo da liga intermetálica Fe-30Al-6Cr (at.%).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) D.G. Morris. Possibilities for high-temperature strengthening in iron aluminides. *Intermetallics* 6 (1998) 753-758.
[https://doi.org/10.1016/S0966-9795\(98\)00028-4](https://doi.org/10.1016/S0966-9795(98)00028-4)
- (2) S.C. Deevi, V.K. Sikka. Nickel and iron aluminides: an overview on properties, processing, and applications. *Intermetallics* 4 (1996) 357-375.
[https://doi.org/10.1016/0966-9795\(95\)00056-9](https://doi.org/10.1016/0966-9795(95)00056-9)
- (3) R.I. Trezona, D.N. Allsopp, I.M. Hutchings. Transitions between two-body and three-body abrasive wear: influence of test conditions in the microscale abrasive wear test. *Wear* 225-229 (1999) 205-214.
[https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(98\)00358-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(98)00358-5)
- (4) K. Adachi, I.M. Hutchings. Wear-mode mapping for the micro-scale abrasion test. *Wear* 255 (2003) 23-29.
[https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(03\)00073-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(03)00073-5)
- (5) R.C. Cozza. Effect of sliding distance on abrasive wear modes transition. *Journal of Materials Research and Technology* 4 (2) (2015) 144-150.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmrt.2014.10.007>
- (6) R.C. Cozza, C.G. Schön. Evidence of Superposition between Grooving Abrasion and Rolling Abrasion. *Tribology Transactions* 58 (2015) 875-881.
<https://doi.org/10.1080/10402004.2015.1024907>
- (7) M.T. Umemura, L.B. Varela, C.E. Pinedo, R.C. Cozza, A.P. Tschiptschin. Assessment of tribological properties of plasma nitrided 410S ferritic-martensitic stainless steels. *Wear* 426-427 (2019) 49-58.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.12.092>
- (8) D.V. De Pellegrin, G.W. Stachowiak. Evaluating the role of particle distribution and shape in two-body abrasion by statistical simulation. *Tribology International* 37 (3) (2004) 255-270.
<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2003.09.004>
- (9) K.I. Schiffmann, R. Bethke, N. Kristen. Analysis of perforating and non-perforating micro-scale abrasion tests on coated substrates. *Surface and Coatings Technology* 200 (7) (2005) 2348-2357.
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.01.015>
- (10) R.C. Cozza, L.C. Rodrigues, C.G. Schön. Analysis of the micro-abrasive wear behavior of an iron aluminide alloy under ambient and high-temperature conditions. *Wear* 330-331 (2015) 250-260.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2015.02.021>
- (11) D.V. De Pellegrin, G.W. Stachowiak. Simulation of three-dimensional abrasive particles. *Wear* 258 (1-4) (2005) 208-216.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2004.09.040>
- (12) D. Sun, J.A. Wharton, R.J.K. Wood. Micro-abrasion-corrosion of cast CoCrMo – Effects of micron and sub-micron sized abrasives. *Wear* 267 (1-4) (2009) 52-60.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2009.01.011>

- (13) M.M. Khrushchov. Principles of abrasive wear. *Wear* 28 (1) (1974) 69-88.
[https://doi.org/10.1016/0043-1648\(74\)90102-1](https://doi.org/10.1016/0043-1648(74)90102-1)
- (14) V. Imbeni, C. Martini, D. Prandstraller, G. Poli, C. Trepanier, T.W. Duerig. Preliminary study of micro-scale abrasive wear of a NiTi shape memory alloy. *Wear* 254 (12) (2003) 1299-1306.
[https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(03\)00092-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(03)00092-9)
- (15) M.F.C. Andrade, R.P. Martinho, F.J.G. Silva, R.J.D. Alexandre, A.P.M. Baptista. Influence of the abrasive particles size in the micro-abrasion wear tests of TiAlSiN thin coatings. *Wear* 267 (1-4) (2009) 12-18.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2008.12.114>
- (16) R.C. Cozza, L.C. Rodrigues, C.G. Schön. Micro-abrasive wear behaviour of an iron aluminide alloy under conditions of room and elevated temperatures. Proceedings of the “TribolBR 2014 – 2nd International Brazilian Conference on Tribology”. Foz do Iguaçu, PR – Brazil. ABM Proceedings. São Paulo – Brazil: Blucher Publishing Company – v. 2, p. 3653-3663.
<https://doi.org/10.5151/1472-5836-24968>
- (17) T. Itoi, S. Mineta, H. Kimura, K. Yoshimi, M. Hirohashi. Fabrication and wear properties of Fe₃Al-based composites. *Intermetallics* 18 (11) (2010) 2169-2177.
<https://doi.org/10.1016/j.intermet.2010.07.014>
- (18) S. Jóźwiak, K. Karczewski. Influence of aluminum oxides on abrasive wear resistance of Fe-50 at.% Al intermetallics sinters. *Journal of Alloys and Compounds* 482 (2009) 405-411.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.04.034>
- (19) A.M.S. Malafaia, M.T. Milan, M. Omar, R.M. Muñoz Riofano, M.F. de Oliveira. Oxidation and abrasive wear of Fe-Si and Fe-Al intermetallic alloys. *Journal of Materials Science* 45 (2010) 5393-5397.
<https://doi.org/10.1007/s10853-010-4591-4>
- (20) K. Adachi, I.M. Hutchings. Sensitivity of wear rates in the micro-scale abrasion test to test conditions and material hardness. *Wear* 258 (1-4) (2005) 318-321.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2004.02.016>
- (21) K. Bose, R.J.K. Wood. Optimum tests conditions for attaining uniform rolling abrasion in ball cratering tests on hard coatings. *Wear* 258 (1-4) (2005) 322-332.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2004.09.018>
- (22) M.M. Macedo, J.H. Luna-Domínguez, V. Verma, C.G. Schön, R.C. Cozza. Assessment of micro-abrasive wear tribological properties of H10 tool-steel under conditions of “*constant normal force* $\Rightarrow$ *variable pressure*” and “*constant pressure* $\Rightarrow$ *variable normal force*”. *Wear* 476 (2021) 203664.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203664>

SYNERGISM BETWEEN “CONCENTRATION LEVEL”, “TYPE OF MICRO-ABRASIVE PARTICLE” AND “TYPE OF LIQUID” OF MICRO-ABRASIVE SLURRIES ON MICRO-ABRASIVE WEAR BEHAVIOR OF THE Fe-30Al-6Cr (at.%) INTERMETALLIC ALLOY – PART II: VOLUME OF WEAR

ABSTRACT

Currently, the intermetallic materials for metallurgical and mechanical applications have been classified by the experts in the field as an important development that deserve close attention and further investigation. Therefore, the objective of this work was to study the behaviour of the volume of wear of Fe-30Al-6Cr (at.%) intermetallic alloy – “as cast” state, under action of micro-abrasion. The counter-body was an AISI 52100 bearing-steel sphere with a diameter of 25.4 mm, and the micro-abrasive slurries were prepared with micro-abrasive particles of alumina – Al_2O_3 or black silicon carbide – SiC, together with distilled water or glycerin, into the following four possible combinations: “ $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ distilled”, “ $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{glycerin}$ ”, “SiC + H_2O distilled”, and “SiC + glycerin”. A factorial experiment was designed for a condition of constant normal force together with different levels of micro-abrasive slurry concentrations and sliding distances. The obtained results showed that the volume of wear increased with increasing micro-abrasive slurry concentration, regardless of the type of micro-abrasive particle and the type of liquid. However, the micro-abrasive slurries prepared with SiC and distilled water provided the highest volumes of wear, when compared to the volumes of wear reported under the use of the micro-abrasive slurries prepared with Al_2O_3 and glycerin.

Keywords: Intermetallic alloys, micro-abrasive wear, volume of wear.