



INFLUÊNCIA DA MICROESTRUTURA NO COMPORTAMENTO TRIBOLÓGICO EM LIGAS FERROSAS MULTICOMPONENTES

João Luiz Teixeira Mendes

Laboratório de Tribologia e Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160, Campus de Santa Mônica, Bloco 1R
jltmendes@yahoo.com.br

Francisco Cianelli Novaes Gomes

Laboratório de Tribologia e Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160, Campus de Santa Mônica, Bloco 1R
frangomes@yahoo.com

Mário Boccalini Jr.

Laboratório de Fundição da Divisão de Metalurgia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Av. Prof. Almeida Prado 532, Cidade Universitária, São Paulo
mbj@ipt.br

José Daniel Biasoli de Mello

Laboratório de Tribologia e Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160, Campus de Santa Mônica, Bloco 1R
ltm-demello@ufu.br

Resumo: *O presente trabalho visa estudar a influência de parâmetros microestruturais de ligas ferrosas multicomponentes ricas em vanádio e molibdênio no comportamento tribológico em desgaste oxidativo/deslizamento. As amostras para os ensaios consistem de dez ligas fundidas, com variação do teor de vanádio e molibdênio e fixação dos outros elementos de liga. Estas amostras sofreram tratamentos térmicos de têmpera e revenimento diversos, obtendo-se três níveis de dureza na matriz metálica. O ensaio foi do tipo deslizamento, esfera sobre plano, com movimento alternado e sendo fixadas a carga aplicada, velocidade e temperatura. Medições do coeficiente de atrito aparente e taxa de desgaste, além de análise do mecanismo de desgaste por microscopia e análise química via energia dispersiva de elétrons, foram realizados. O atrito não sofreu influência da quantidade de carbonetos eutéticos e da dureza nominal da matriz. As ligas mais macias apresentaram maior taxa de desgaste em relação às ligas duras. O efeito da quantidade de carbonetos sobre a taxa de desgaste nas ligas macias é desprezível. Nas ligas duras, a presença dos carbonetos protege a matriz com 650 HV de dureza, contudo o aumento da quantidade de carbonetos não interferiu na taxa de desgaste nestas ligas. Os mecanismos de desgaste observados foram arrancamento e fragmentação de carbonetos eutéticos, abrasão e formação e quebra da camada triboquímica.*

Palavras-chave: *ligas ferrosas, desgaste, laminação, oxidativo, carbonetos.*

1. INTRODUÇÃO

As ligas ferrosas multicomponentes são materiais metálicos do sistema Fe-C-X, onde X são elementos formadores de carbonetos, presentes numa quantidade razoável nestas ligas. As ligas ferrosas multi-componentes possuem características de manter níveis de dureza elevada e resistência ao desgaste quando submetidas a temperaturas elevadas, resultado do efeito da matriz e carbonetos eutéticos presentes nestas ligas (Boccalini and Goldenstein, 2001).

A microestrutura destas ligas como bruta de fusão (Boccalini and Goldenstein, 2001) é uma matriz bainítica ou martensítica, com carbonetos secundários globulares imersos na matriz e carbonetos eutéticos presentes nas regiões intercelulares e interdendríticas (M_2C , M_7C_3 e MC) e no interior das células eutéticas (MC). Estas ligas passam, em grande parte dos casos, por tratamentos térmicos de têmpera e um duplo revenimento, com objetivo de obter uma matriz de martensita revenida. Neste trabalho mediu-se a quantidade de carbonetos eutéticos MC e M_2C encontrados nas ligas trabalhadas. Fischmeister et al. citado por (Boccalini and Goldenstein, 2001) mostraram que o elemento de liga vanádio é mais dissolvido nestas ligas pelos carbonetos MC. Já os elementos molibdênio e tungstênio são mais dissolvidos pelos carbonetos M_2C .

Nos últimos 20 anos, estas ligas têm sido utilizadas na fabricação de cilindros das cadeiras de acabamento na laminação de tiras à quente, com resultados bastante satisfatórios em relação aos outros materiais também empregados nesta aplicação (Boccalini, Sinatora and Matsubara, 2000).

O processo de falha em cilindros de laminação é bastante complexo e engloba diversos mecanismos, tais como, abrasão, adesão, fadiga térmica e oxidação (Spuzic et al., 1994). Este trabalho aborda somente o mecanismo de adesão, que está relacionado ao desgaste por deslizamento. O tribosistema do cilindro de laminação envolve vários fatores, incluindo, tensões mecânicas e térmicas cíclicas altas, temperaturas elevadas cíclicas, num ambiente rico em gases e umidade.

O mecanismo de desgaste nos cilindros de laminação se caracteriza com regiões com pouca oxidação (compostos triboquímicos), o que evidencia a microestrutura da liga; formação de trincas originadas por tensões térmicas e mecânicas (problema que escapa do escopo da tribologia); alisamento das asperidades; e a presença de uma certa quantidade de riscos e sulcos de abrasão na matriz e carbonetos (Cornélio, Sinatora e Guimarães, 2004).

Alguns autores (Park et al., 1999) e (Pellizzari et al., 2005) obtiveram resultados em ensaios tribológicos, na configuração de dois rolos, na qual o aumento da fração volumétrica de carbonetos MC nestas ligas representou uma maior resistência ao desgaste. Além disso, Park et al. (1999) observaram que o atrito tinha uma relação direta com o aumento da quantidade de carbonetos MC.

Apesar destes trabalhos mostrarem os efeitos dos parâmetros microestruturais sobre o desgaste e o atrito nas ligas ferrosas multicomponentes utilizadas em cilindros de laminação, há uma ausência de estudo que aborde de maneira sistemática a influência dos parâmetros microestruturais (separação do efeito da quantidade e tipo de carbonetos e dureza da matriz metálica) sobre o comportamento tribológico, e numa condição que realmente reproduza os mecanismos de desgaste e a configuração mecânica do movimento entre o cilindro e a tira laminada. O movimento relativo entre o cilindro e a tira se caracteriza como alternado, que não é o caso do ensaio de dois rolos.

Milan (2004) desenvolveu uma metodologia de ensaio de desgaste por deslizamento tipo esfera/plano (esfera como contra-corpo) com parâmetros tribológicos adequados para reproduzir os mecanismos de desgaste dos cilindros na configuração mecânica do movimento relativo entre cilindro e tira.

Este trabalho tem o propósito de apresentar o efeito da dureza nominal da matriz e a fração volumétrica de carbonetos eutéticos no comportamento tribológico destas ligas no desgaste oxidativo/deslizamento, adotando a metodologia de ensaio que reproduza o tribosistema encontrado na laminação de tiras à quente.

2. METODOLOGIA

As amostras consistem de tarugos fundidos de ligas ferrosas com teores variados de vanádio (maiores teores de vanádio na sequência, ligas V5; V6,5 e V8/M2), denominadas de família V, e ligas com teores variados de molibdênio (maiores teores de molibdênio na sequência, ligas V8/M2; M3,5 e M5), denominadas de família M, com adições de carbono, tungstênio e cromo (valores fixos). A liga V8/M2 possui a mesma composição química. Há também amostras com composição química ajustada para impedir a formação dos carbonetos eutéticos e que fosse semelhante ao da matriz metálica das outras ligas.

As amostras sofreram tratamentos térmicos (têmpera e revenimento) específicos para obtenção de determinadas durezas nas matrizes. Para estudar a influência da dureza nominal da matriz metálica, as amostras da família V e matriz tinham dois níveis de dureza, 450 e 650 HV. A composição química da liga V8/M2 impossibilitou da matriz alcançar a dureza de 650 HV. Obteve-se a dureza de 550 HV.

O processo de preparação das amostras passa pelas seguintes etapas: corte, retificação, lapidação e limpeza. O corte foi realizado por disco abrasivo para atender espessura requerida nos ensaios (8 mm). A operação de retificação (rebolo tipo copo reto de CBN) visa a obtenção de superfícies paralelas. Para eliminar o efeito da rugosidade, uma etapa de lapidação foi realizada com mistura de óleo e SiC # 220. Numa etapa final, as amostras foram limpas no ultra-som com álcool por 5 minutos.

Foi realizada uma caracterização microestrutural das ligas, onde se efetuou uma contagem da fração volumétrica dos carbonetos eutéticos total e M_2C . A quantidade de carbonetos eutéticos MC foi obtido pela subtração da quantidade total sobre a de M_2C . A distância livre entre carbonetos eutéticos (DLC) MC foi calculada a partir do diâmetro de Feret e da fração volumétrica destes carbonetos, de acordo com a formulação mostrada por de Mello (2001). Também verificou-se a microdureza da matriz metálica das ligas, em ensaios de dureza Vickers com carga de 50 gramas. Os intervalos de variação foram determinados para um nível de confiança de 95%.

A configuração mecânica dos ensaios de deslizamento é esfera/plano com movimento alternado e os seguintes parâmetros foram selecionados: carga de 70,6 N; frequência de 6 Hz; amplitude 6 mm; tempo de ensaio de 2 horas; contra-corpo: esfera de Si_3N_4 , diâmetro de 9,525 mm; condições de temperatura e pressão ambientes, e umidade relativa do ar em 50%. A variável monitorada durante o ensaio foi o coeficiente de atrito aparente. O valor do atrito aparente foi calculado como a média das medidas depois de estabelecido o regime permanente.

Foram calculadas as taxas de desgaste através do cálculo do volume das marcas de desgaste via leitura da topografia destas regiões, utilizando interferometria laser 3D, com o equipamento da UBM MESSSTECHNIK, e cálculo da variação volumétrica através do software Digital Surf MountainsMap Universal®. A leitura da topografia foi medida na região central da trilha, com comprimento total de 3 mm.

Por meio de microscopia eletrônica e energia dispersiva de elétrons (EDS), se caracterizaram os mecanismos de desgaste desenvolvidos no interior das trilhas nas diversas ligas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que o aumento do teor de vanádio nas ligas da família V permitiu a maior formação de carbonetos eutéticos e mais especificamente de carbonetos eutéticos MC. Por outro lado, o acréscimo de vanádio resultou na menor formação de carbonetos eutéticos M_2C . Nas ligas da família M, houve maior formação de carbonetos eutéticos e carbonetos eutéticos M_2C , e uma diminuição da quantidade de carbonetos eutéticos MC (Tabela 1). As medições da dureza da matriz nas ligas serviram para verificar o resultado dos tratamentos térmicos (Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros microestruturais das ligas ensaiadas.

Ligas	Fração volumétrica (%)			Microdureza da matriz (HV50)		
	Total	MC	M_2C	450	550	650
Matriz	***	***	***	434 ± 7		638 ± 7
V5	9,60 ± 0,21	7,69 ± 0,75	1,910 ± 0,55	466 ± 7		649 ± 15
V6,5	11,72 ± 0,23	10,34 ± 0,49	1,378 ± 0,26	441 ± 6		638 ± 16
V8/M2 450	12,44 ± 0,18	12,04 ± 0,34	0,33 ± 0,16	449 ± 12		
V8/M2 550	11,41 ± 0,17	11,11 ± 0,32	0,3 ± 0,15		563 ± 11	
M3,5	13,23 ± 0,28	10,91 ± 0,54	2,32 ± 0,26	477 ± 12		
M5	13,24 ± 0,36	10,90 ± 0,66	2,34 ± 0,30	454 ± 22		

A obtenção da fração volumétrica e a medição do diâmetro de Feret dos carbonetos eutéticos MC permitiu calcular a DLC MC (tabela 2). Nas ligas da família V, a DLC dos MC aumentou com o acréscimo de teor de vanádio. Nas ligas da família M, houve uma diminuição e depois um aumento na DLC dos MC.

Tabela 2: Distância livre entre carbonetos eutéticos MC.

LIGAS	DLC (μm)
V5	38,53
V6,5	28,35
V8/M2 450	29,04
V8/M2 550	31,20
M3,5	24,88
M5	27,63

O atrito aparente (Figura 1) nas ligas mais duras não sofreu interferência pela presença dos carbonetos eutéticos. No entanto, a amostra de mesma dureza nominal de matriz sem carbonetos teve um atrito aparente superior ao das amostras com carbonetos. O efeito se manteve o mesmo com a liga de dureza intermediária, mas com maior quantidade total de carbonetos eutéticos e MC e menor presença de M_2C (liga V8/M2).

O atrito aparente é igual entre as ligas de menor dureza. O efeito da presença de carbonetos eutéticos na matriz 450 HV, nos parâmetros tribológicos impostos, é nulo no que tange atrito aparente (Figura 1).

A influência na modificação da dureza nominal nas ligas da família V no substrato é nula para o atrito aparente, apesar da diferença do mecanismo de desgaste existente com a mudança de dureza (Figura 1).

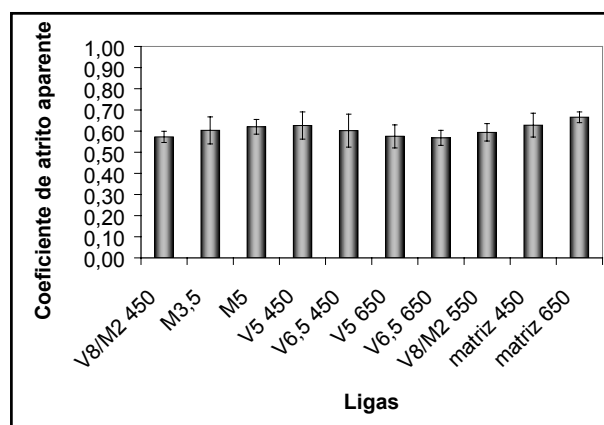


Figura 1: Resultados de atrito aparente das ligas ensaiadas.

Em relação às ligas da família V, a taxa de desgaste manteve-se igual com e sem aumento da presença de carbonetos eutéticos nas ligas menor dureza nominal, (Figura 2). Nas ligas V5 e V6,5 de dureza mais elevada, a taxa de desgaste foi indiferente com aumento da fração volumétrica de carbonetos eutéticos, contudo, comparando estas com a liga matriz 650 HV a taxa desta última foi superior as primeiras.

Houve uma diminuição da taxa de desgaste nas ligas da família V com o aumento da dureza nominal da matriz (Figura 2).

A liga V8/M2 550 HV apresentou taxa de desgaste semelhante das ligas V5 e V6,5 de dureza mais elevada. Quando se compara com as ligas V5 e V6,5 mais macias, a taxa de desgaste é semelhante. A taxa de desgaste desta liga também diminuiu com o aumento da dureza nominal de sua matriz (Figura 2).

Nas ligas da família M, o aumento da fração volumétrica de carbonetos trouxe melhoria na resistência ao desgaste para as amostras M3,5 e M5 em relação à V8/M2 450 HV. A taxa de desgaste das amostras M3,5 e M5 não apresentou diferença. Além disso, as ligas da família M tiveram maior resistência ao desgaste em relação à liga matriz 450 HV (Figura 2).

As ligas da família M obtiveram maior resistência ao desgaste em relação às ligas da família V com dureza nominal da matriz semelhante. Quando se compara a taxas de desgaste das duas famílias de liga, a mesma diminuiu com o aumento da fração volumétrica total carbonetos e de carbonetos MC (Figura 2). Em relação à quantidade de carbonetos eutéticos M_2C , houve uma diminuição da taxa de desgaste em função do aumento da presença destes carbonetos (Figura 2).

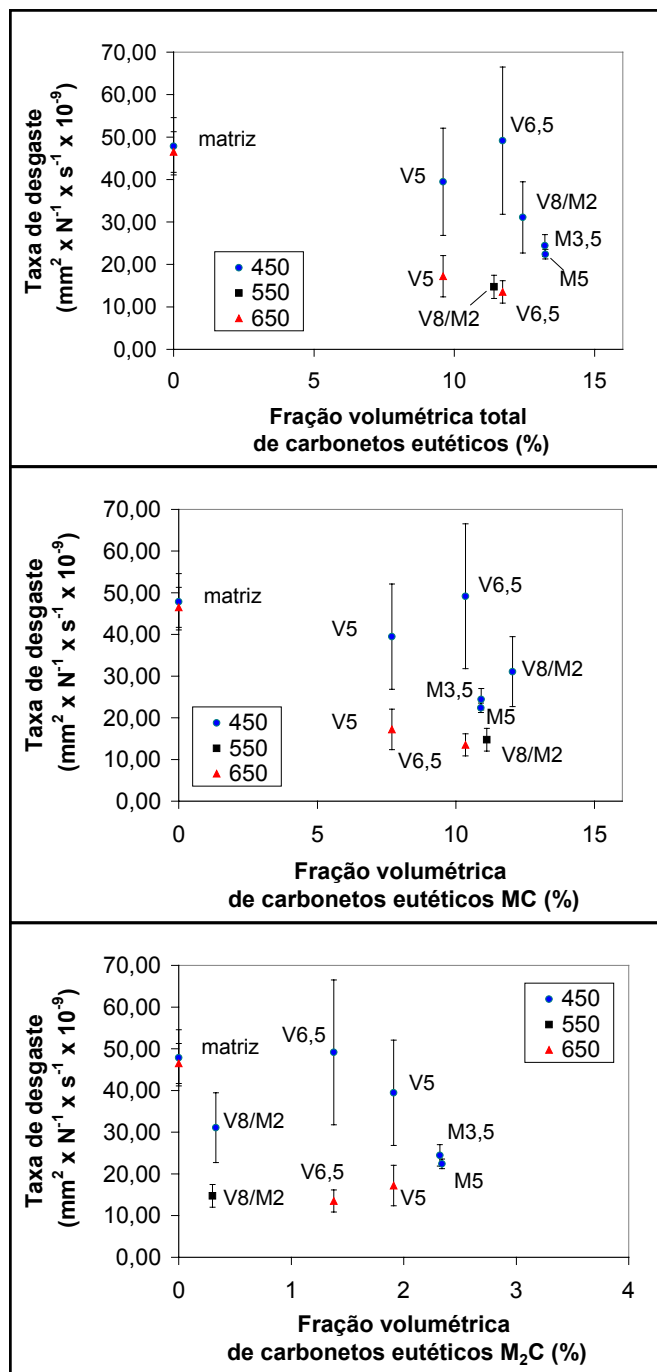


Figura 2: Taxa de desgaste em função da fração volumétrica de carbonetos eutéticos.

Observou-se nas ligas da família M que o aumento da DLC eutéticos MC teve uma relação com o aumento da taxa de desgaste (Figura 3). Nas ligas da família V mais macias não foi constatado nenhum efeito. As ligas com matriz mais duras também não sofreram influência da DLC eutéticos MC.

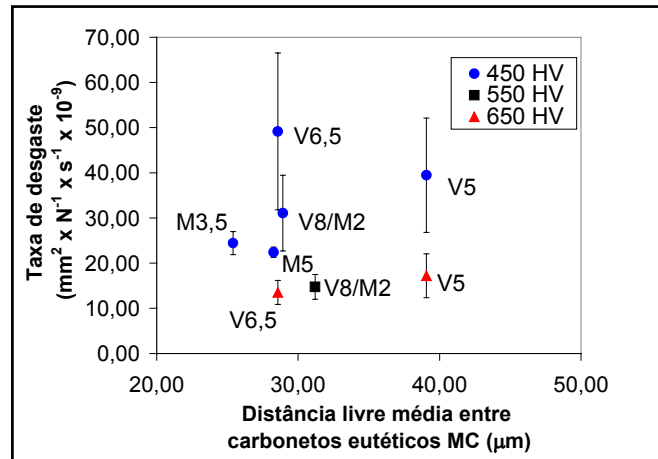


Figura 3: Taxa de desgaste em função da distância livre média dos carbonetos eutéticos MC.

As marcas de desgaste das ligas V5 e V6,5 com dureza 650 HV e a liga V8/M2 de 550 HV, apresentam mecanismos de desgaste idênticos. Observou-se pouco arrancamento e fragmentação de carbonetos eutéticos, e alguns riscos abrasivos (Figura 3a e 3b). Ocorreu também formação e quebra de camada de compostos triboquímicos (Figura 3b). A menor intensidade da formação da camada triboquímica permitiu a visualização clara da microestrutura das ligas (Figura 3a e 3b). O arrancamento e fragmentação de carbonetos eutéticos, em menor intensidade, resultou num desgaste menos severo e pouca presença de riscos abrasivos em relação às ligas V5 e V6,5 de menor dureza. A dureza mais elevada da matriz permite melhor suporte de sustentação para os carbonetos eutéticos e fragmentos gerados no processo de desgaste; resultados semelhantes foram encontrados por Kim et al. (2003) e Milan (2004).

Nas marcas de desgaste das ligas V5, V6,5 e V8/M2 mais macias ocorreu uma maior quantidade de arrancamento e fragmentação de carbonetos eutéticos (Figura 3c). Além disso, estas ligas apresentaram maior formação e quebra da camada de compostos triboquímicos.

As ligas M3,5 e M5 apresentaram mecanismos de desgaste semelhantes ao das ligas V5, V6,5 e V8/M2 de menor dureza na matriz (Figura 4a e 4b).

O arrancamento e fragmentação de carbonetos eutéticos mais acentuados nas ligas com dureza nominal menor na matriz foram causados pela maior diferença entre a dureza da matriz e a dos carbonetos eutéticos. Os fragmentos de desgaste dos carbonetos também atuaram como agentes abrasivos, aumentando a intensidade de desgaste (Figura 3c).

O processo de remoção dos carbonetos por arrancamento e fragmentação também forma sulcos (Figura 4a) que possibilita um acúmulo dos fragmentos de desgaste, originando as camadas de compostos triboquímicos. Estas camadas, nas ligas macias, são removidas por fratura. (Figura 4b). A análise de EDS nas regiões das camadas (Figura 3d) mostrou que as mesmas continham teores elevados de ferro, silício e oxigênio. Portanto, estas camadas são formadas por fragmentos de desgaste oxidados das amostras, indicado pela presença do ferro e oxigênio, e fragmentos das esferas de Si₃N₄, evidenciando um processo de transferência de material.

A menor distância livre entre carbonetos eutéticos MC nas ligas mais macias, juntamente com a maior fração volumétrica de carbonetos eutéticos (tipo MC e M_2C), pode explicar a maior resistência ao desgaste das ligas M3,5 e M5 em relação às outras ligas.

Os mecanismos de desgaste das ligas matriz 450 HV e 650 HV (Figura 4c e 4d) também foram formação e quebra de camadas de compostos triboquímicos e riscos de abrasão. Estas camadas consistem de fragmentos de desgaste das amostras e das esferas de Si_3N_4 .

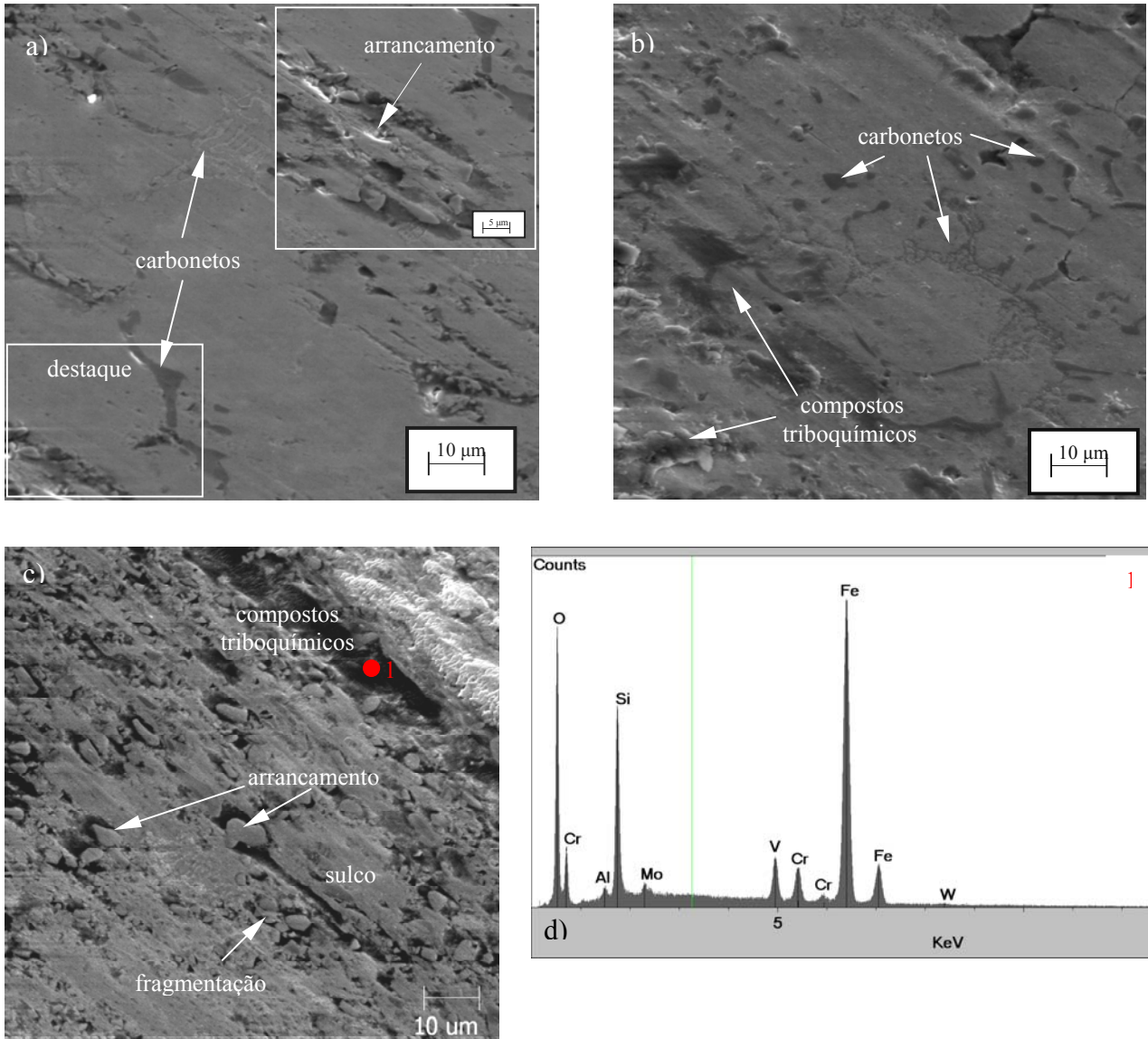


Figura 3: Mecanismos de desgaste das ligas ensaiadas. a) V5 650 HV. b) V6,5 650 HV. c) V6,5 450 HV. d) EDS da região 1 da foto 3c.

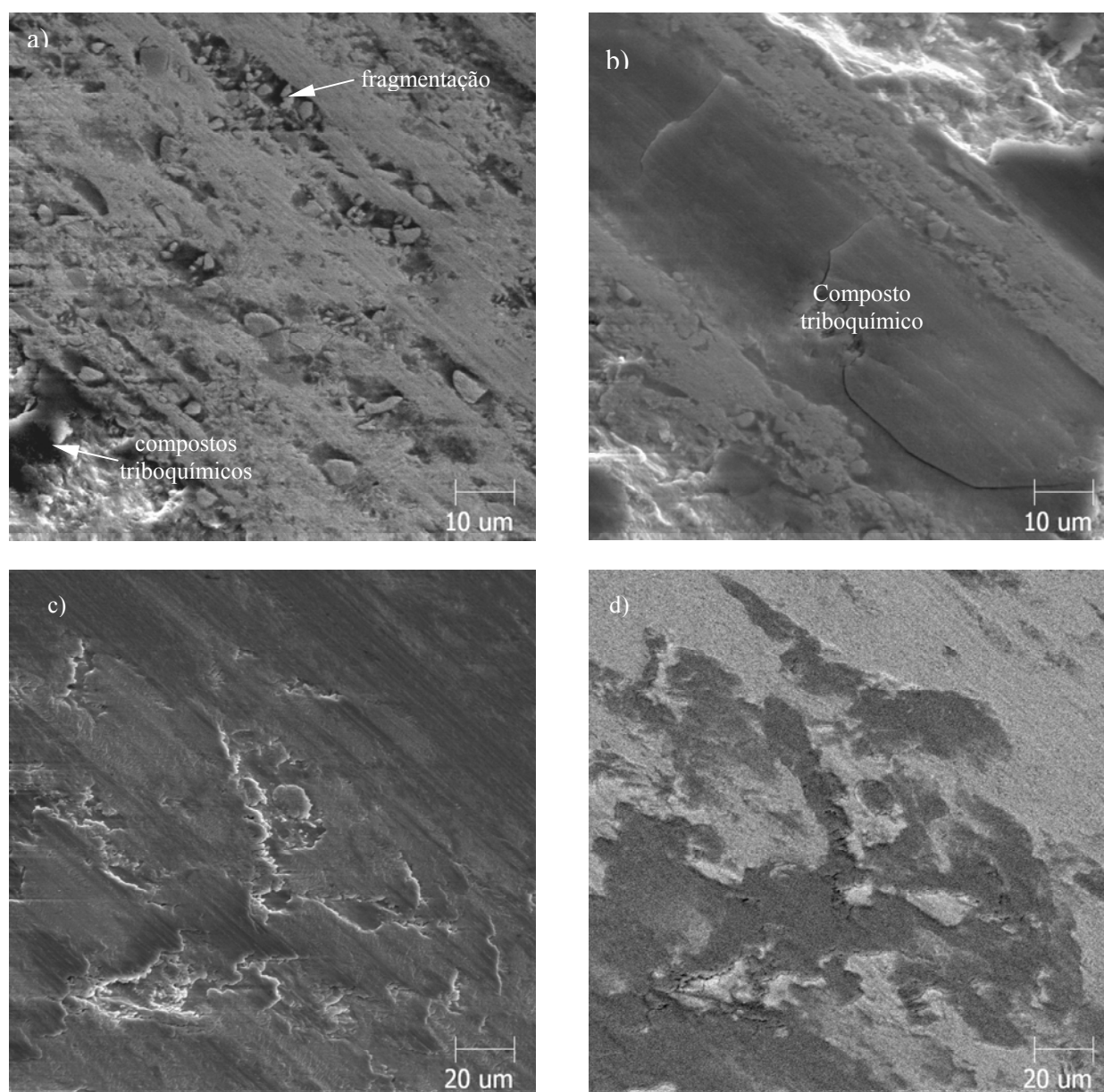


Figura 4: Mecanismos de desgaste das ligas ensaiadas. a) M3,5. b) M3,5. c) matriz 450. d) Região da matriz 450 gerada por elétrons retro-espalhados.

4. CONCLUSÃO

Sobre a influência de alguns parâmetros microestruturais nas ligas ferrosas ricas em vanádio e molibdênio nos resultados de desgaste deslizamento por deslizamento pode-se dizer:

O atrito aparente não é afetado pela dureza nominal da matriz e pela fração volumétrica de carbonetos eutéticos, com exceção da liga matriz 650.

As ligas da família V mais duras são mais resistentes ao desgaste do que as ligas V mais macias e as ligas da família M. Portanto, a dureza nominal da matriz é um critério importante para a resistência ao desgaste. As ligas da família M são mais resistentes ao desgaste do que as ligas da família V com dureza nominal da matriz semelhante.

A fração volumétrica de carbonetos eutéticos não interfere na taxa de desgaste quando se comparam as ligas da mesma família. No entanto, uma análise conjunta entre as famílias de ligas mostra uma diminuição da taxa de desgaste com aumento da fração volumétrica total de carbonetos eutéticos e de eutéticos de MC. A distância entre carbonetos eutéticos MC influencia na taxa de desgaste entre as ligas das famílias V e M com mesma dureza nominal na matriz.

Os mecanismos de desgaste nas ligas com carbonetos eutéticos compreendem arrancamento e fragmentação de carbonetos eutéticos, desgaste oxidativo com transferência de material e abrasão. A intensidade destes mecanismos apresenta-se com maior intensidade nas ligas de matriz metálica mais macia. As ligas matriz apresentam desgaste triboquímico.

5. REFERÊNCIAS

- BOCCALINI, M., GOLDENSTEIN, H. Solidification of high speed steels. *International Materials Reviews*, v. 46, n. 2, p. 92-115, 2001.
- BOCCALINI, M., MATSUBARA, Y., J., SINATORA, A. Overview: high speed steels for hot rolling mill rolls. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO PROCESSO E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS, 37., 2000, Curitiba. Anais... São Paulo : Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2000. p. 587-596.
- CORNÉLIO, G., T., SINATORA, A., GUIMARÃES, V., A. Correlação entre a resistência ao desgaste abrasivo e a microestrutura de materiais fundidos empregados em cilindros de laminadores. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 59., 2004, São Paulo. Anais... São Paulo : Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2004. p.
- De MELLO, J., D., B., and HUTCHINGS, I., M. Effect of processing parameters on the surface durability of steam-oxidized sintered iron. *Wear*, v. 250, p. 435-448, 2001.
- KIM, C., K., LEE, S., JUNG, JAE-YOUNG, AHN, S. Effects of complex carbide fraction on high-temperature wear properties of hardfacing alloys reinforced with complex carbides. *Materials Science & Engineering A*, v. A349, p. 1-11, 2003.
- MILAN, J., C., G. Comportamento tribológico de aços rápidos para laminação a quente. 2004. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia.
- PARK, J., W., LEE, H., C., LEE, S. Composition, microstructure, hardness, and wear properties of high speed steel rolls. *Metalurgical and Materials Transactions A*, v. 30, p. 399-409, 1999.
- PELIZZARRI, M., et al. Wear and friction behavior of high chromium iron and high speed steels for hot rolls. In: ABRASION 2005 - ABRASION WEAR RESISTANT ALLOYED WHITE CAST IRON FOR ROLLING AND PULVERIZING MILLS, 2., 2005, São Paulo. Proceedings of International Conference. São Paulo : Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de São Paulo Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2005. p. 189-198.
- SPUZIC, S., et al. Wear of hot rolling mill rolls: an overview. *Wear*, 176, p. 261-271, 1994.

INFLUENCE OF MICROSTRUCTURE IN TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF MULTICOMPONENT FERROUS ALLOYS

João Luiz Teixeira Mendes

Laboratório de Tribologia e Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160, Campus de Santa Mônica, Bloco 1R
jltmendes@yahoo.com.br

Francisco Cianelli Novaes Gomes

Laboratório de Tribologia e Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160, Campus de Santa Mônica, Bloco 1R
frangomes@yahoo.com

Mário Boccalini Jr.

Laboratório de Fundição da Divisão de Metalurgia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Av. Prof. Almeida Prado 532, Cidade Universitária, São Paulo
mbj@ipt.br

José Daniel Biasoli de Mello

Laboratório de Tribologia e Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160, Campus de Santa Mônica, Bloco 1R
ltm-demello@ufu.br

Abstract: *This paper shows the influence of microstructural parameters on multicomponent white cast iron rich in vanadium and molybdenum in tribological behavior in relation to oxidative/sliding wear. The samples for the tests consist of ten cast alloys with variable vanadium and molybdenum content and other fixed elements. Quenched and tempered treatments were made to obtain three levels of matrix hardness. The wear test used was ball on plane with reciprocating sliding. The load, speed and temperature were fixed. The measurements of apparent friction coefficient and wear rate, apart from analysis of mechanisms by microscopy and chemical analysis (X-ray energy spectroscopy), were made. Friction did not suffer any influences from the amount of eutectic carbides and hardness of the matrix. Softer alloys showed a higher wear rate than harder alloys, also the wear rate of softer alloys was not affected by the amount of carbides. In harder alloys, the presence of carbides protects the 650 HV matrix, however the increase in the amount of carbides did not interfere with the wear rate. Wear mechanisms in different intensities on several alloys: pull-out of carbides, abrasion and oxidative wear. The abstract text is to be included here.*

Keywords: *ferrous alloys, wear, rolling, oxidative, carbides.*