

AVALIAÇÃO DA ESFEROIDIZAÇÃO SOBRE O COMPORTAMENTO DE DESGASTE EROSIVO DE AÇOS UTILIZADOS EM TROCADORES DE CALOR

H.A. Virginia¹, A.B.C. Arnt¹, M. R. da Rocha², E. Angioletto¹, G. B. Ugioni¹, A. Teixeira¹

¹Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC – Criciúma/SC

²Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC – Blumenau/SC

E-mail: marcio2r@gmail.com

RESUMO

Um dos problemas verificados em trocadores de calor que trabalham em temperaturas elevadas é a degradação causada por processos erosivos. Um dos fatores que contribuem para a degradação do material são as mudanças microestruturais, como a esferoidização dos carbonetos. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da esferoidização nas condições de desgaste erosivo no aço ASTM A106. As amostras foram submetidas à diferentes tempos e temperaturas de tratamento, visando gerar esferoidização nas amostras, posteriormente submetidas a ensaios de desgaste erosivo. Avaliou-se perda de massa, as microestruturas esferoidizadas e a resistência mecânica a partir da microdureza. As amostras com maior nível de esferoidização, obtidas nas temperaturas de 730°C em tempos acima de 50 horas apresentaram maior redução de dureza que resultou em maiores perdas de massa. De forma geral, com o aumento da esferoidização, há redução da resistência mecânica e aumento do desgaste erosivo, porém com gradativa redução da taxa de desgaste. Isto possivelmente decorre do aumento da ductilidade/tenacidade da matriz, a qual retarda o processo de fragmentação (debris) da superfície do aço ASTM A106 durante o processo erosivo à quente.

Palavras chave: erosão, tribologia, trocadores de calor, esferoidização.

INTRODUÇÃO

A erosão é a perda progressiva de material de uma superfície sólida devido à interação mecânica entre a superfície e um fluido, ou um fluido multicomponente ou partículas líquidas ou sólidas impactantes. Então, entende-se que a erosão é um tipo de desgaste que se caracteriza pela perda de material, originada pela interação mecânica de uma superfície e um fluido [1]. O fluido pode conter sólidos, ou de origem externa, ou originados pela perda de material da própria superfície. Neste cenário, encaixam-se as estruturas metálicas de trocadores de calor que trabalham com transporte de particulados, em especial de carvão e cinzas. Tais partículas conduzidas por um fluido em alta temperatura promovem a gradativa degradação do material, decorrente principalmente devido à erosão superficial[2-3]. Um dos fatores que contribuem para a degradação do material são as mudanças microestruturais que ocorrem devido à exposição nestas temperaturas, que contribuem no final com a redução de sua resistência mecânica [1-4].

Tradicionalmente, a solução aplicada para a minimização destes problemas é a aplicação de uma variedade de materiais ou revestimentos sobre as áreas afetadas. Porém, estudos mostraram que o uso dessas técnicas alternativas foram as principais causas de repetidas falhas, resultante principalmente da falta de informações integradas sobre o problema[5]. Outro fator importante está relacionado ainda a falta de informações sobre a contribuição das variáveis microestruturais sobre o processo de desgaste.

De forma geral, a taxa e a extensão dos processos erosivos são afetadas pela velocidade da partícula, ângulo de impacto, composição e forma da partícula, além da resistência erosiva da superfície exposta do material que inclui variações composicionais e de temperaturas. Assim, ações no sentido de identificar o efeito dos parâmetros relacionados ao processo de degradação desses componentes são essenciais, pois o comportamento de um material, principalmente de sua superfície, pode se alterar significativamente com pequenas variações destes fatores [1], e conseqüentemente, afetar o seu tempo de vida em serviço.

Portanto, neste trabalho foi avaliado o comportamento de desgaste erosivo do aço ASTM A106, normalmente utilizados em trocadores de calor,

com diferentes níveis de esferoidização de sua microestrutura. Isto se justifica, já que estes materiais normalmente são expostos em temperaturas elevadas (abaixo de A_1) por longos períodos de tempo, o que acarreta na esferoidização de sua estrutura e, conseqüentemente, alteração de sua resistência mecânica e de resistência à erosão.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o acompanhamento das transformações microestruturais e seu efeito sobre o processo de desgaste, foram preparadas amostras com aço ASTM A106 (diâmetro de 30mm x 3,5mm de espessura), extraídas de tubos e submetidas a diferentes tempos de tratamento térmico. A composição química do aço utilizado é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química do aço ASTM A106 GrA utilizado.

	C	SI	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V
Amostra	0,2180	0,2030	0,4160	0,0150	0,0130	0,0250	0,0340	<0,002	0,0087	0,0022
A106 GrA*	0,25% Max	0,10% mín.	0,27- 0,93	0,035% max	0,035% max	0,40% Max	0,40% max	0,15% max	0,40% max	0,08% max

*Ref. Norma ASTM

Estas amostras foram submetidas a duas condições de tratamento térmico em ciclo isotérmico, nas temperaturas de 530°C, 630°C e 730°C, por tempos iguais a 25, 50, 100 e 200h. As temperaturas indicadas são inferiores à A_1 do material, a qual foi determinada por dilatometria como sendo igual a 742°C. Os tratamentos térmicos aplicados tiveram por objetivo produzir diferentes padrões de esferoidização dos carbonetos presentes.

As amostras tratadas tiveram suas microestruturas avaliadas por microscopia óptica (Olympus BX41M-LED) e eletrônica de varredura (Zeiss EVO MA10). Para tanto, estas foram lixadas e polidas com suspensão de alumina de 1 μ m e posteriormente atacadas com Nital 2%. Para caracterização mecânica, a dureza das amostras foi verificada com um durômetro com microindentação Vickers, com carga aplicada igual a 0,5kgf (Future Tech FM 700).

Para avaliar a resistência ao desgaste erosivo, 30 amostras foram testadas em um equipamento desenvolvido pelo laboratório de cerâmicos da UFRGS, em condições de erosão à quente e, tomando-se por referência a norma ASTM G76. Os parâmetros de teste neste ensaio foram: temperatura de 450°C, tempo de 30 minutos, uso de erodente a base de alumina eletrofundida de morfologia irregular, velocidade do fluxo de 20m/s e ângulo de incidência igual a 30°. Os parâmetros utilizados foram aproximados ao encontrados em condições de operação de trocadores de calor de unidades de termogeração (Vizenzi et al, 2002). Na Figura 1 é apresentada a amostra montada no equipamento de erosão e a indicação do ângulo de incidência. Na Tabela 01 está indicada os resultados da análise granulométrica do erodente, determinado em um granulômetro à laser. O desgaste das amostras foi indicado pela variação de massa das mesmas antes e após o ensaio.

Tabela 1: Análise granulométrica das partículas de erodente (Al_2O_3).

<i>D10</i> (μm)	<i>D50</i> (μm)	<i>D90</i> (μm)	<i>Dméd</i> (μm)
171,57	375,54	571,39	376,07

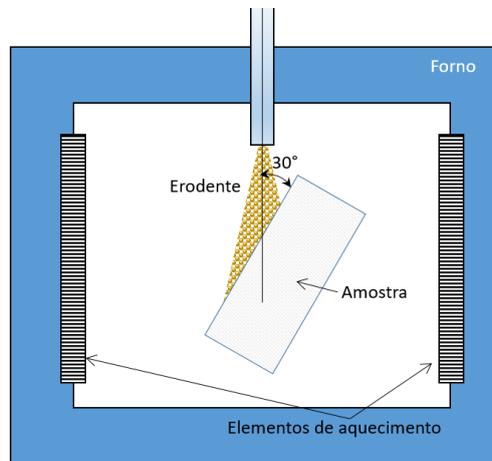


Figura 1: Indicação do posicionamento da amostra no equipamento de ensaio erosivo a quente de erosão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras inicialmente preparadas apresentaram dureza igual a $220,6 \pm 1\text{HV}$. A sua microestrutura inicial, antes do tratamento térmico é apresentada na Figura 2, a qual apresenta matriz ferrítica e colônias de perlita.

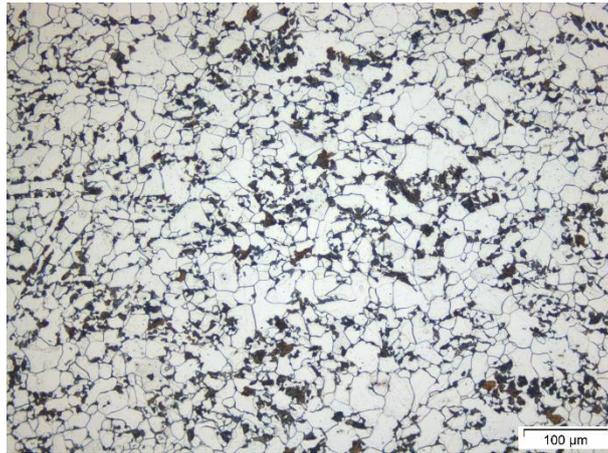


Figura 2: Microestrutura inicial do aço ASTM A106 sem tratamento térmico, na sua condição inicial de recebimento.

As microestruturas das amostras após o processo de esferoidização estão indicadas na Figura 3. Como pode ser observado nas micrografias, as amostras submetidas na temperatura de 540°C apresentaram os carbonetos com baixo nível de esferoidização, mesmo com tempos de exposição longos (200h). Com a elevação da temperatura, há uma elevação da taxa de difusão de carbono no material, o que já para temperaturas iguais a 630°C promove alterações significativas na sua microestrutura, principalmente dos carbonetos presentes. Na temperatura de 740°C, além do elevado nível de esferoidização, nota-se também o aumento do tamanho de grão, o que contribui significativamente com a dureza do aço, comparativamente às amostras tratadas em temperaturas menores. Isto pode ser observado na Figura 4, a qual indica a variação da dureza das amostras ao longo do tempo nas diferentes temperaturas de teste.

Nos primeiros estágios de esferoidização (tempos inferiores a 50 horas), há uma alteração mais significativa na redução de dureza, decorrente do processo de fragmentação das lamelas de perlita e início do processo de arredondamento das partículas de carbonetos. Disto resulta em um aumento no livre caminho médio na matriz ferrítica, o que facilita a movimentação de discordâncias pelo material. Já nos estágios mais adiantados do processo (tempos maiores que 50 horas), o processo de esferoidização encontra-se basicamente no estágio de coalescimento de partículas, reduzindo assim o número de partículas de carbonetos isolados [7]. Ressalta-se que esta etapa

ocorre de modo mais lenta, quando comparada as etapas iniciais e, portanto, implicando em contribuições menores na redução de dureza do material. Entretanto, deve ser observado que paralelamente ocorre um aumento na capacidade de deformação do material quando comparado ao estado inicial do aço ASTM A106 e, com isso deveria dificultar o arrancamento de material em um processo erosivo.

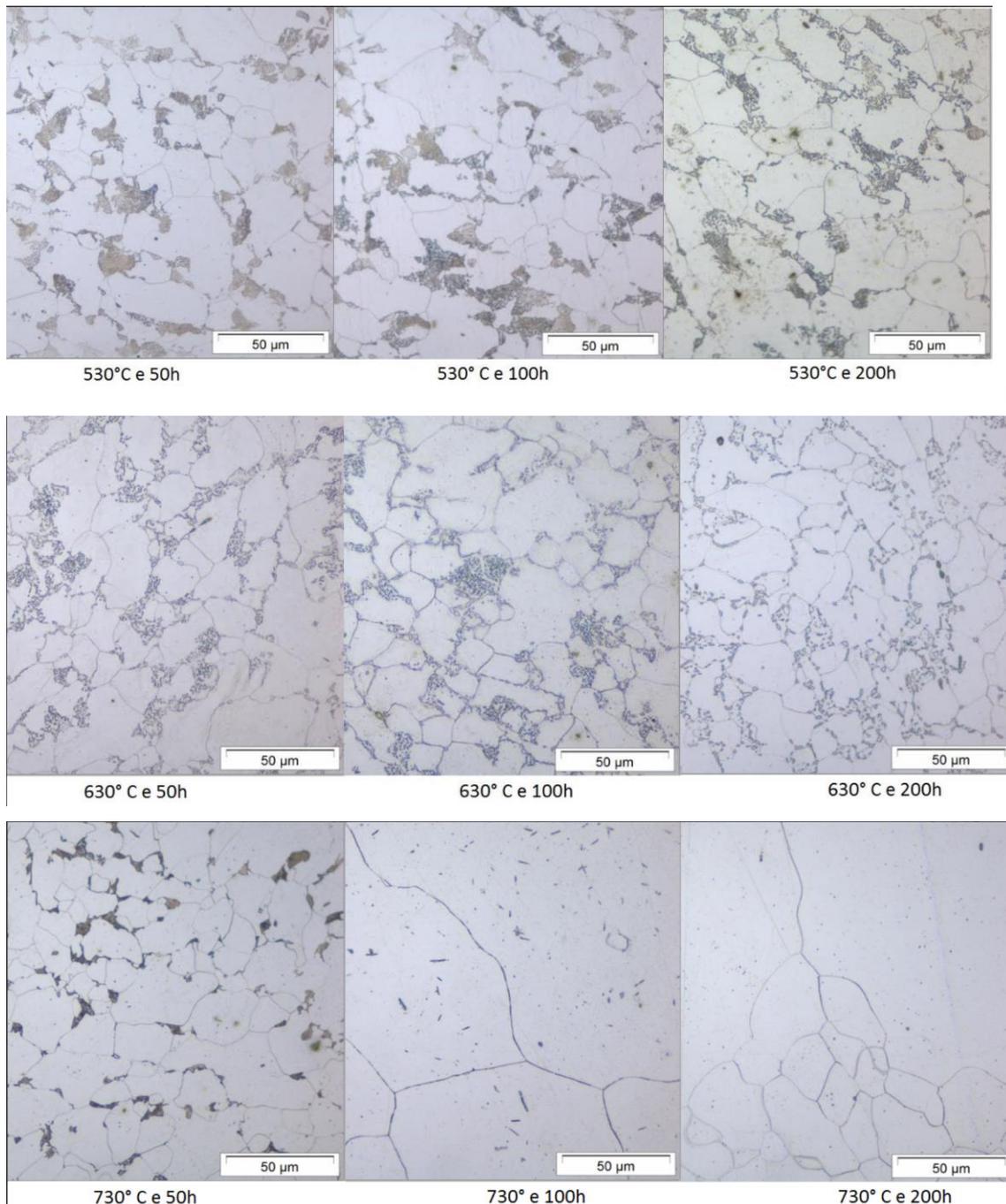


Figura 3: Microestruturas das amostras tratadas nas temperaturas de 530, 630 e 730°C, nos tempos de 50h, 100h e 200h.

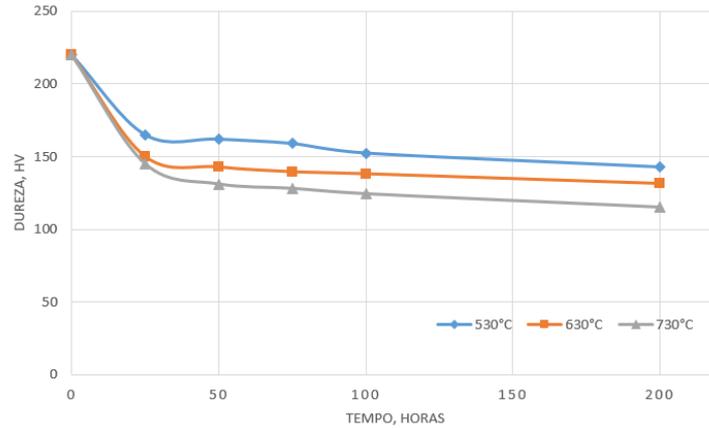


Figura 4: Variação da dureza Vickers (0,5kgf) das amostras nas temperaturas de 530°C, 630°C e 730°C nos diferentes tempos de tratamento de esferoidização.

Na Figura 5 pode ser observada a variação de massa das amostras submetidas ao ensaio de desgaste erosivo na temperatura de 450°C, para as amostras tratadas nas temperaturas de 530°C e 730°C. Conforme esperado, com o aumento da temperatura e/ou tempo de esferoidização, houve um aumento do desgaste, porém, não de forma linear, indicando a interferência das mudanças da microestrutura sobre o mecanismo de desgaste. As maiores temperaturas, conforme já apontado anteriormente, desenvolveram microestruturas mais esferoidizadas devido a alta taxa difusiva de carbono, o que contribuiu para a remoção de material da superfície das amostras durante o ensaio erosivo.

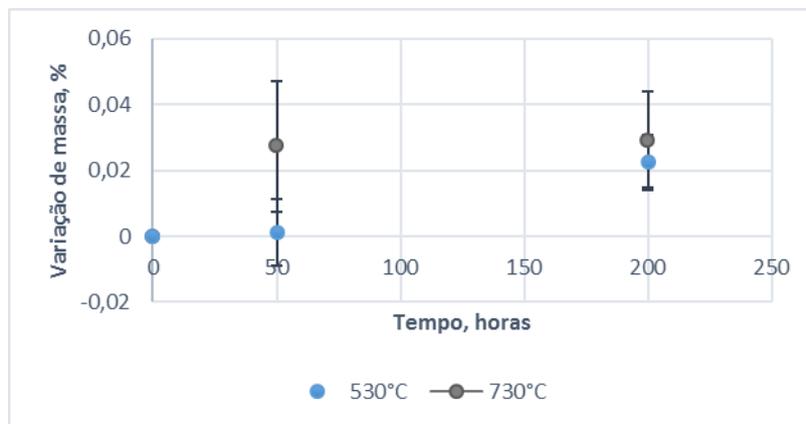


Figura 5: Variação de massa das amostras no ensaio de desgaste erosivo, submetidas ao tratamento de esferoidização em 530°C e 730°C.

Na Figura 6 pode ser observada a superfície desgastada da amostra esferoidizada em 730°C após 100 horas. É verificado que o padrão de remoção de partículas erodidas pelo erodente ocorre com grande deformação plástica inicial, e, também, com a ocorrência de microtrincas antes a fragmentação propriamente dita. Esta ocorre possivelmente pelo processo de fadiga superficial, causada pelo contínuo impacto das partículas sobre a superfície. Outro fator que deve ser observado é que, com o aumento da ductilidade do material (e redução da dureza), houve um aumento na tenacidade do material na temperatura de teste (450°C), o que de certo modo contribuiu para a redução da taxa de desgaste erosivo. Entretanto, não se pôde inferir qual o nível de contribuição deste fator sobre a erosão. Ainda, cabe destacar que nas amostras com maior nível de esferoidização houve uma incorporação de partículas de erodente na superfície testada das amostras, o que contribuiu para o aumento a dispersão dos valores de variação de massa das mesmas. As amostras na sua condição inicial, com esferoidização inicial (tempo de tratamento inferior a 50h), apresentaram um menor nível de dispersão nos valores obtidos, bem como praticamente nenhuma incorporação de partículas erodentes sobre a superfície do material.

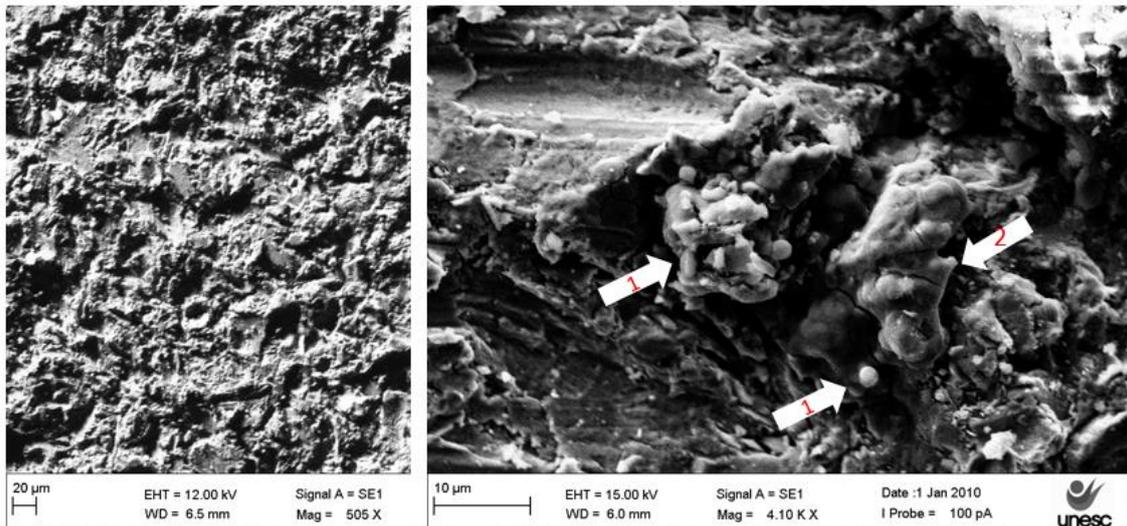


Figura 6: Aspecto da superfície da amostra esferoidizada em 730°C/100h após submissão ao ensaio de desgaste erosivo em 450°C. Na imagem ampliada, setas indicam a presença de partículas encrustadas na superfície (1) e a presença de trincas superficiais (2).

CONCLUSÕES

Durante os ensaios de desgaste foi observado que em virtude da maior ductilidade apresentada pela matriz, houve uma maior deformação superficial e em alguns casos, a fixação/incorporação de particulados erosivos na superfície, resultando em maior dispersão dos resultados. De forma geral, com o aumento do livre caminho médio da matriz ferrítica e aumento do grau de esferoidização, há um aumento do nível de desgaste erosivo.

Fato observado é que a taxa de desgaste erosivo sofre influência do padrão microestrutural presente no aço ASTM A106, particularmente nas etapas iniciais de esferoidização, onde há maior variação da resistência mecânica do material. Nos estágios mais avançados, a taxa de desgaste é reduzida, possivelmente devido ao aumento da ductilidade da matriz.

Por fim, análises das características da região de desgaste ainda merecem maiores análises para mensuração quantitativa da contribuição dos mecanismos de esferoidização sobre a fragmentação das partículas erodidas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro dado ao projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] SUCKLING, M., ALLEN, C. *The design of an apparatus to test wear of boiler tubes*. WEAR, 186-187, 1995. P.266-272.
- [2] SAHA, A. *Chapter 3 - Boiler tube failures: Some case studies*, In Handbook of Materials Failure Analysis with Case Studies from the Chemicals, Concrete and Power Industries, Butterworth-Heinemann, 2016, Pages 49-68
- [3] SAGAYARAJ, T.A.D., SURESH, S., CHANDRASEKAR, M. *Experimental studies on the erosion rate of different heat treated carbon steel economiser tubes of power boilers by fly ash particles*, International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, V.16, N.5, 2009, Page 534
- [4] OKA, Y.I. et al. *Practical Estimation of Erosion Damage Caused by Solid Particle Impact Part 1: Effects of Impact Parameters on a Predictive Equation*. Wear, v.259, 2005. p.95-101

- [5] DOOLEY, R.B., MCNAUGHTON, W.P. *Boiler Tube Failures: Theory and Practice*. V.01: Boiler Tube Fundamentals Vol 02: Water-Touched Tubes, Vol. 3: Steam-Touch Tubes, 1996. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, TR-105261
- [6] VICENZI, J. VILLANOVA, D. LIMA, L. M. D. TAKIMI, A. S. MARQUES, C. M. BERGMANN, C. P. *Avaliação do Desgaste Erosivo à Quente (~300°C) por Cinzas de Carvão Mineral em Revestimentos Obtidos por Aspersão Térmica*, LACER –UFRGS, 2002.
- [7] ROCHA, M.R. *Aço ABNT 1045 esferoidizado: estudo da cinética de coalescimento e correlações entre microestruturas e propriedades mecânicas*, UFSC: Dissertação de Mestrado, UFSC, 2001.

EVALUATION OF SPHEROIDIZING ON EROSION OF STEEL USED IN HEAT EXCHANGERS

ABSTRACT

One of the problems arising in heat exchangers operated at elevated temperatures is the degradation caused by erosion processes, which may be related microstructural changes, such as spheroidizing of carbides. The aim of this study was to evaluate the effect of spheroidizing in ASTM A106 steel. The samples were subjected to different times and temperatures of treatment. This procedure was spheroidizing generate different levels in the samples, which were then subjected to erosive wear conditions. It evaluated the behavior after the test of wear and microstructural changes.

Keywords: steel, tribology, heat exchangers, spheroidizing.