

INFLUÊNCIA DOS NÓDULOS NA RESISTÊNCIA AO DESGASTE DO FERRO FUNDIDO NODULAR EM DESLIZAMENTO COM A CHAPA DE AÇO EEP-IF

Sergio Luiz Manenti¹, sergio.manenti27@gmail.com

Ricardo Diego Torres¹, ricardo.torres@pucpr.br

Carlos A. H. Laurindo¹, carlos.laurindo@pucpr.br

Paulo Soares¹, pa.soares@pucpr.br

¹Pontifícia Universidade Católica, PUC-PR, Rua Imaculada Conceição, 1155 CEP80215-901, Curitiba, Pr - Brasil

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência dos nódulos na resistência ao desgaste de pinos de ferro fundido nodular em deslizamento recíproco contra uma chapa de aço IF. Os pinos de ferro fundido foram extraídos de uma barra redonda obtida por fundição contínua, processo FUCO®, nas seguintes posições: superfície da barra (maior velocidade de resfriamento), meio raio da barra (velocidade de resfriamento intermediária) e centro da barra (menor velocidade de resfriamento). Através da extração dos pinos em diferentes posições da barra FUCO®, foi possível variar a microestrutura do material em termos, principalmente, do número e do tamanho dos nódulos de grafita. Posteriormente, o comportamento tribológico foi investigado nas três amostras em contato com a chapa de aço para conformação extra profunda EEP-IF (DX56D +Z, +ZA) HDG GI, revestido com Zinco e 5% de Alumínio, galvanizado a quente com cristal minimizado, pela técnica de ensaio por deslizamento recíproco, segundo a norma ASTM 133-05. Foi determinado taxa de desgaste e coeficiente de atrito do ferro fundido nodular. Os resultados de caracterização mostraram que a porcentagem de grafita se mantém em 12%, em peso, ao longo da seção transversal da barra, nas três posições superfície, meio raio e centro. O número de nódulos foi de 827nod/mm² na superfície, 638nod/mm² no meio raio e 518nod/mm² no centro. A porcentagem de perlita aumenta da superfície para o centro da barra, e a porcentagem de ferrita diminui da superfície para o centro. A dureza aumenta da superfície para o centro. O grau de nodularidade está acima de 80% ao longo da barra. Nos ensaios tribológicos, o coeficiente de atrito não variou de forma significativa nas três posições. O desgaste em volume foi menor na amostra extraída da superfície da barra. No centro, possivelmente, a perlita, fase de maior dureza, agiu como um terceiro corpo aumentando o desgaste abrasivo. Na análise química o Zinco da chapa aderiu em todas as amostras de ferro fundido nodular, juntamente com o Oxigênio devido ao aquecimento durante os ensaios. As chapas apresentaram trilhas com desgastes severos, característicos de desgaste abrasivo.

Palavras-chave: Ferro Fundido Nodular, Tribologia, Desgaste, Conformação.

1. INTRODUÇÃO

O processo de conformação de chapas metálicas é amplamente utilizado na indústria de transformação da matéria-prima, com destaque para produção de peças estampadas. Dependendo da geometria da peça, é necessário realizar várias operações até a conformação completa de uma peça estampada, as principais operações são: embutimento, corte, dobramento, furação e extrusão.

O processo de conformação, é utilizado na indústria automotiva para a obtenção de peças para carroceria veicular como: portas, tetos, laterais, tampas, entre outras, nesse processo a primeira operação é o embutimento da chapa, que através do deslizamento da chapa em um molde com formato definido, tem a finalidade de não haver afinamento da espessura da chapa, após a peça conformada. Estes moldes para operação de embutimento são constituídos de prensa-chapas, matriz e punção, e comumente fabricados utilizando o ferro fundido nodular.

Durante a conformação, o contato entre chapa metálica e a superfície do molde de ferro fundido nodular, existem variações na pressão de contato, de acordo com os parâmetros do processo utilizados como: profundidade do embutimento e tensões aplicadas, em todas as direções da chapa para a conformação. Certas regiões do molde, como principalmente os raios côncavos, na matriz e no punção, são regiões que estão sujeitas aos esforços para o estiramento da chapa, consequentemente são regiões de maiores desgastes.

Após vários embutimentos, em uma produção seriada, o desgaste do molde de ferro fundido nodular, juntamente com adesão do material deslocado da chapa de aço, causam defeitos no molde como “enrustimentos”, “arrancamentos”

e “riscos”, devido ao mecanismo de desgaste gerado entre o par tribológico, ferro fundido nodular e chapa de aço para conformação.

O embutimento é a operação de estampagem onde uma chapa, inicialmente plana, é transformada por um processo mecânico a frio em peças de geometrias definidas, como para-lamas, capôs, portas, laterais entre outras. Na Figura 1, Cora *et al.* (2012), ilustra os tipos de contatos em uma operação de embutimento.

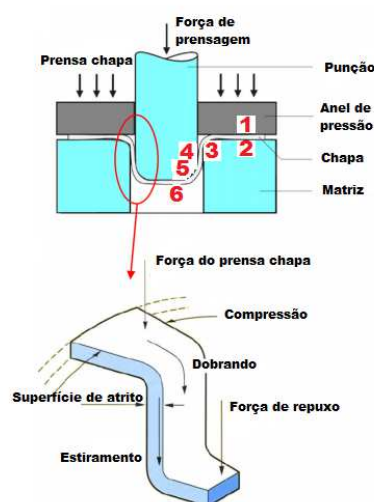


Figura 1. – Superfícies de contato durante um embutimento exemplo copo (Cora et al., 2012)

Como observado na Fig. 1, Cora *et al.* (2012), classifica as regiões 1 e 2, como regiões de deslizamento (movimento relativo) da chapa em relação a matriz e o prensa-chapas. Nesta região a chapa também sofre esforços de compressão na direção circunferencial. É importante controlar a pressão da prensa chapas, para evitar o enrugamento da chapa, pois estas rugas se propagam da borda para o interior da matriz, podendo gerar trincas ou causar o travamento ou “engripamentos” das peças durante o processo de conformação, ocasionando rompimento na lateral da peça. À medida que o material segue em conformação na direção da cavidade da matriz, a chapa é dobrada na região 3. Na sequência, a região 4 ocorre a deformação plana, responsável pela uniformização da espessura de parede através do estiramento do material. Na região 5 ocorre o dobramento da chapa, seguindo o raio do punção. Finalmente, na região 6 ocorre a definição final da geometria da peça, em contato do punção com o fundo da matriz.

A norma (DIN EN 50320), classifica os mecanismos de desgaste como: adesivo, abrasivo, fadiga de contato e corrosivo.

Em estudo Groche *et al.* (2011), utilizaram o Ferro fundido nodular de classe (GGG70L, EN-GJS-700-2L, 0,7070L), em experimento de deslizamento com chapa de aço DP600, que fazem parte de uma linha de aços avançados de alta resistência, AHSS – *Advanced High Strength Steel*. No experimento o ferro fundido nodular foi utilizado sem tratamento térmico e sem revestimento, a chapa de aço DP600 com 1,6 mm de espessura revestida com zinco. Nos resultados os autores identificam que no desgaste abrasivo o molde depende exclusivamente da pressão de contato, e no desgaste adesivo o fator predominante é na velocidade de deslizamento, concluindo que quanto maior a força aplicada de contato maior será o desgaste abrasivo. E quanto maior a velocidade de deslizamento maior será o desgaste adesivo.

Neste trabalho foi investigado a influência da quantidade dos nódulos de grafita no mecanismo de desgaste que ocorre durante o contato entre o par tribológico, chapa de aço EEP-IF (Estampagem Extra Profunda – *Interstitial Free*) e o ferro fundido nodular, em ensaios de deslizamento recíproco.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste estudo, a análise da influência dos nódulos e da quantidade de nódulos na resistência ao desgaste do ferro fundido nodular segue as seguintes etapas:

2.1. Análise Microestrutural

No presente trabalho foi escolhido para o estudo, o ferro fundido nodular obtido pelo processo de fundição contínua FUCO®, devido à facilidade de se obter em um único corpo de prova, neste caso, uma barra de 120 mm de diâmetro por 12 mm de espessura, variações na quantidade de nódulos por unidade de área. O tamanho de nódulos tem uma relação direta com o número de nódulos, ou seja, um elevado número de nódulos normalmente é associado a nódulos menores. (Guesser, 2009). A taxa de solidificação (espessura do fundido), inoculação e composição química atuam no tamanho dos nódulos. Elevados teores de carbono e silício tendem a formar nódulos maiores, assim como taxa de solidificação mais lenta (peças espessas), uma inoculação mais eficiente tende a gerar nódulos menores.

Na fabricação, a barra quando fundida e processada no lingotamento contínuo FUCO®, passa pela última operação denominada de resfriador, que controla a taxa de resfriamento da barra. Neste material em específico, a barra recebeu um resfriamento maior, em seu corpo externo do que no núcleo da barra, ocasionando um efeito na microestrutura do ferro fundido nodular, onde é um dos fatores predominante para este trabalho, conseguir alterar a quantidade de nódulos pelo efeito do resfriamento.

Desta forma, o material foi dividido para as análises em quatro posições, conforme a Figura 2, divididas em: (O) - orla ferrítica, (S) - superfície, (MR) - meio raio e (C) - centro.

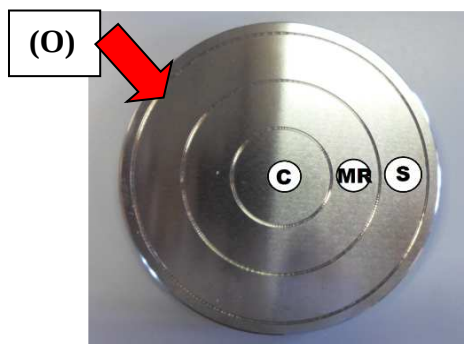


Figura 2. – Identificações das posições da barra em estudo (O Autor, 2016)

Com auxílio do microscópio óptico e integrado ao *software Olympus analySIS Image Processing*, foram realizadas as caracterizações conforme a norma (ASTM A247-67).

2.2. Ensaio de Dureza

Para o ensaio de dureza, foi realizado na escala Brinell (HB), recomendada para medição de dureza em aços e ferros fundidos sem tratamentos térmicos. Nos ensaios foram realizadas medições segundo a norma (NBR 6394-80). Referenciado pela norma, foi adotado um fator de carga 30, utilizando uma esfera de aço de 2,5 mm, com força aplicada de 1840 N, o tempo de aplicação da carga variaram de 10 a 15 segundos por medição. A dureza foi medida em cada posição (S, MR, C e O).

2.3. Fabricação dos Pinos e Preparação das Chapas de Aço

Na fabricação dos pinos adotou-se o mesmo critério nas identificações do material, sendo eles (S) – superfície, (MR) - Meio Raio e (C) – Centro, conforme Fig. 3. A posição (O) – orla ferrítica, não foi investigada para as análises tribológica, devido ser uma casca na superfície da barra proveniente do processo de fundição, com aproximadamente 0,3 mm de espessura.

Utilizou-se para preparação das amostras as máquinas: serra fita e policorte, para cortar o material, um torno mecânico convencional, para torneamento dos pinos e um centro de usinagem para usinar a meia esfera na ponta dos pinos, seguido de polimento com lixas de granometria de 400 até 1500.

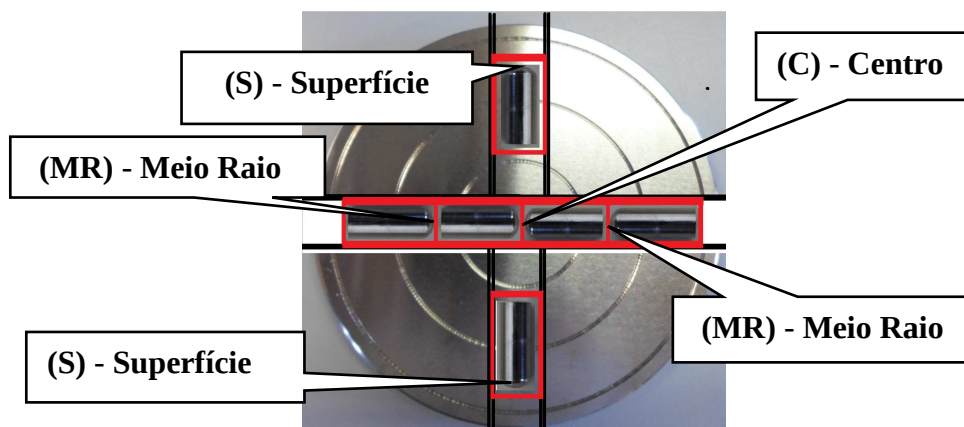


Figura 3. – Preparação da amostra - pinos (S, MR e C) (O Autor. ,2016)

No torneamento, os pinos foram fabricados com diâmetro de 6 mm e comprimento de 20 mm, conforme Fig. 4 (a). Para usinagem da ponta do pino, foi utilizado o processo de interpolação em um centro usinagem de comando numérico computadorizado (CNC), usinando uma meia esfera de raio 3 mm, conforme mostra Fig. 4 (b).

As chapas de aço EEP-IF, laminada com espessura de 0,75 mm, foram cortadas em uma guilhotina, em retângulos de 30 mm x 25 mm, para possibilitar e facilitar o aperto na morsa do tribômetro durante o ensaio.

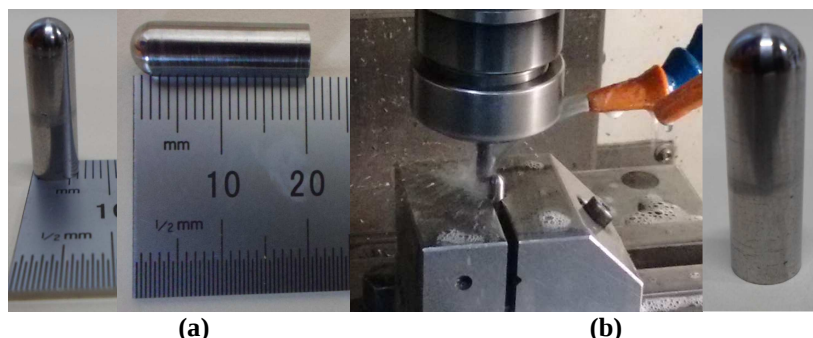


Figura 4. – Pino de Ferro Fundido Nodular (a) – dimensões em mm (b) – usinagem da ponta esférica (O Autor, 2016)

2.4. Ensaios Tribológicos

Nos ensaios tribológicos foi adotado a norma ASTM G133-05 (2010), que consiste em um ensaio de deslizamento recíproco. Os ensaios foram realizados a seco sem tratamento térmico, no laboratório de Tribologia do LACEM / PUC-PR. O equipamento utilizado foi um tribômetro universal (*CSM Instruments*), conforme mostra a Fig. 5.

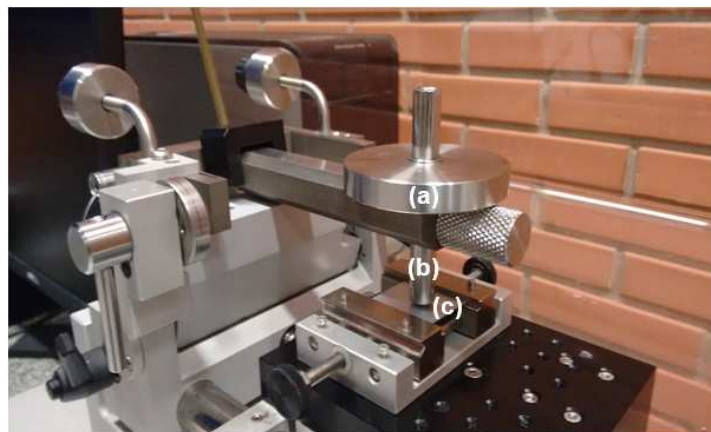


Figura 5. – Tribômetro de deslizamento recíproco do laboratório de tribologia PUC-PR. (a) Carga normal 2N, (b) Amostra Ferro fundido nodular, (c) Chapa EEP-IF (O Autor, 2016)

Os parâmetros para o ensaio tribológico estão indicados na Tab. 1.

Tabela 1. Parâmetros dos ensaios de tribologia (O Autor, 2016)

Parâmetro	Valor
Amplitude de movimento	2 mm
Velocidade Máxima	5 cm/s
Distância de ensaio	10 m
Carga normal	2 N

Para cada condição, foram realizados dois ensaios. Os dados da variação do coeficiente de atrito foram analisados com o programa *TriBox 4.4* (*CSM Instruments*).

Para calcular o desgaste em volume foram realizadas medições do raio desgastado em cada pino, (S, MR e C) no MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura), calculando a calota esférica desgastada, após o ensaio tribológico.

Para as análises de microscopia eletrônica de varredura foi utilizado o equipamento MEV/EDS Vega 3 LV (*Tescan*), do Laboratório de Microscopia Eletrônica da PUC-PR.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 6, mostra os gráficos da caracterização microestrutural realizado na barra de ferro fundido nodular, suas microestruturas em porcentagem de grafita, ferrita, perlita o grau de nodularidade, a quantidade de nódulos por mm² e a dureza em Brinell (BH). Os gráficos no eixo horizontal, representa a dimensão da barra em escala de 0 a 60 mm, ou seja, posição 0 mm representa o núcleo da barra e 60 a superfície da barra. No (C) – centro, em 27 mm, (MR) – meio raio, em 45 mm, (S) – superfície, e a (O) – Orla ferrítica em 57 mm.

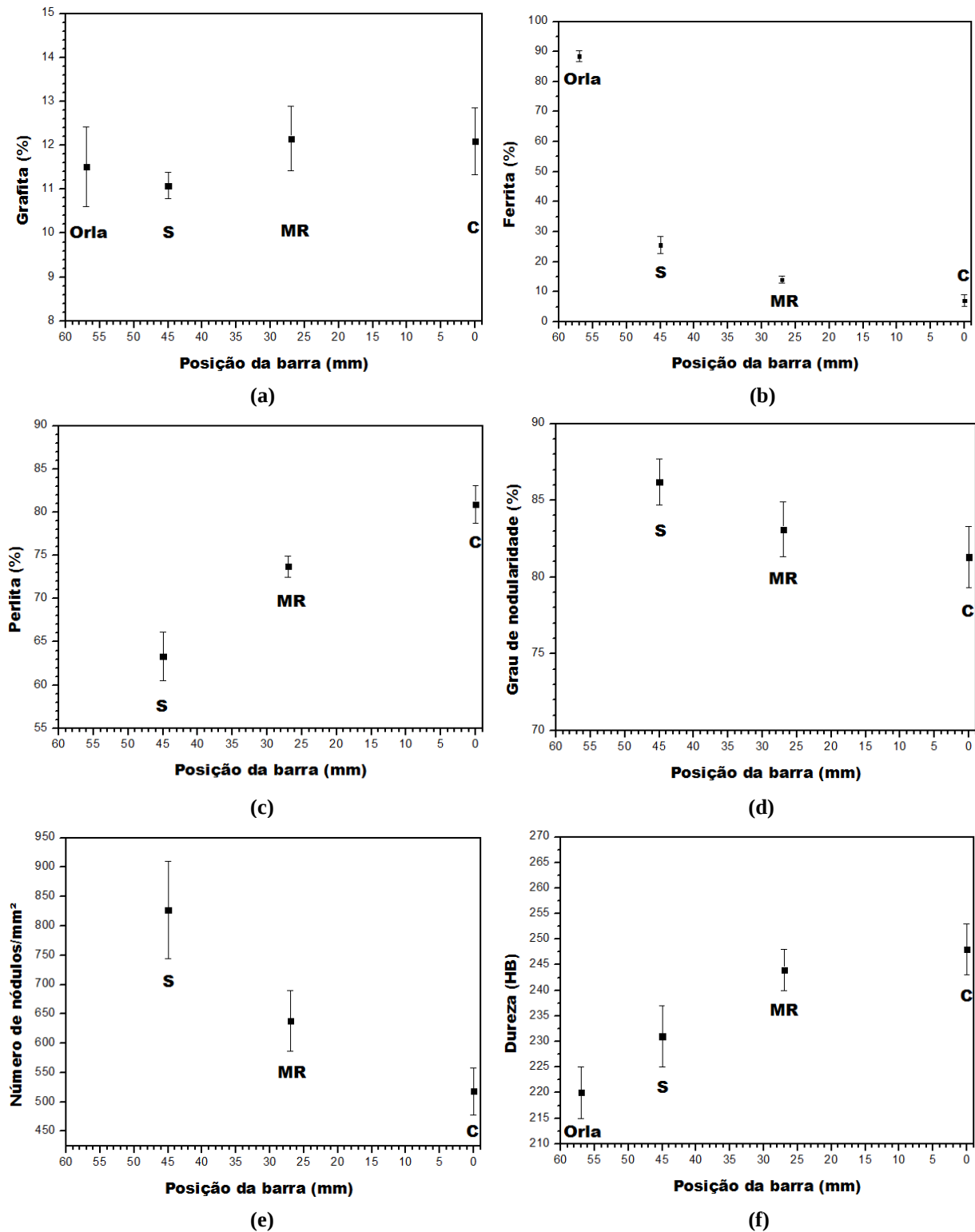


Figura 6. – Gráficos da caracterização (a) % de grafita, (b) % de ferrita (c) % de perlita, (d) grau de nodularidade, (e) número de nódulos/mm² e (f) dureza (HB) nas posições S, MR, C e Orla (O Autor, 2015)

Nos resultados da caracterização microestrutural, ficou claro que a taxa de resfriamento influencia diretamente nas microestruturas constituintes do ferro fundido nodular. Os quesitos de porcentagem de perlita e ferrita, são alterados em função da velocidade de resfriamento, ou seja, a porcentagem de perlita é maior quando obtemos um resfriamento mais lento ex. na amostra (C) - centro, e proporcionalmente a porcentagem de ferrita diminui com menores taxas de resfriamento. A porcentagem de grafita e o grau de nodularidade, se mantém para todas as amostras, porém, como esperado, altera o tamanho dos nódulos e conseqüentemente a quantidade de nódulos/mm², que chegam a valores de 827 nódulos/mm² na amostra (S) – superfície e 518 nódulos/mm² na amostra (C) - centro. Por fim a dureza também esperado, é maior na amostra (C) – centro, quando o ferro fundido é característico perlítico.

A Figura 7, mostra o coeficiente de atrito em função da distância de deslizamento das amostras, (S, MR e C).

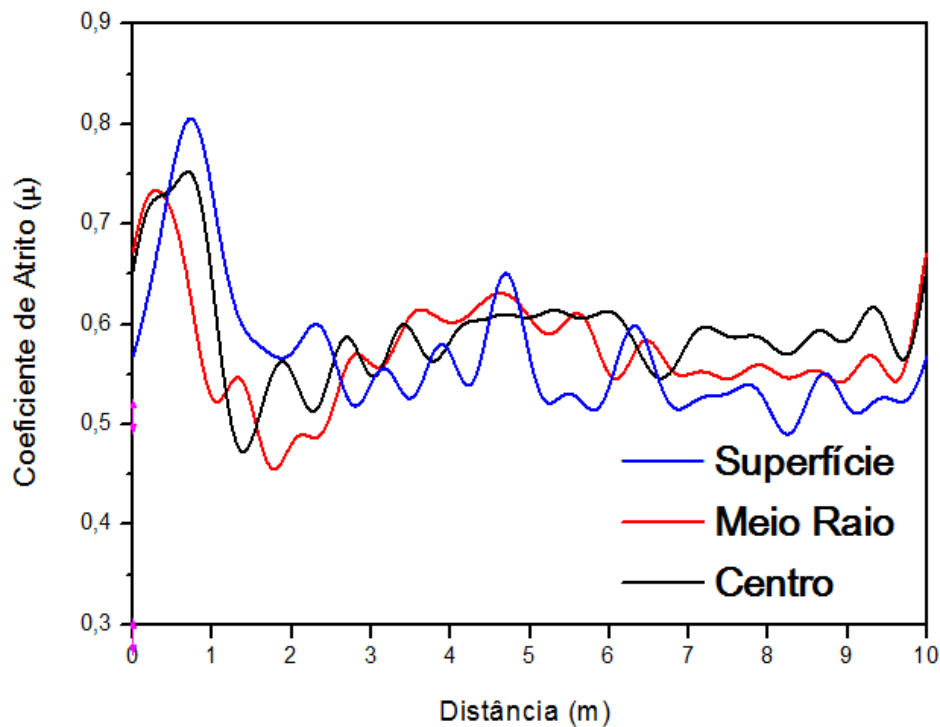


Figura 7. – Coeficiente de Atrito em função da distância em cada posição S, MR, C (O Autor, 2015)

Durante o estudo tribológico, as amostras de ferro fundido nodular, mostram no gráfico Fig. 7, inicialmente um aumento no coeficiente de atrito com valores de até $0,85\mu$ na amostra (S) - superfície. Após este aumento (pico de subida), o comportamento no coeficiente de atrito das amostras é reduzido a $0,45\mu$ em todas as amostras e se mantém em uma média de $0,55\mu$ ao longo dos 10 m de ensaio realizado, que mostra nos resultados do coeficiente de atrito, que não há diferenças significativas entre as amostras mediante quantidade de nódulo/mm².

As Figuras 8, 9 e 10, mostram as imagens das trilhas de desgastes na chapa de aço, e nos pinos obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), nas 3 posições da barra (S, MR e C).

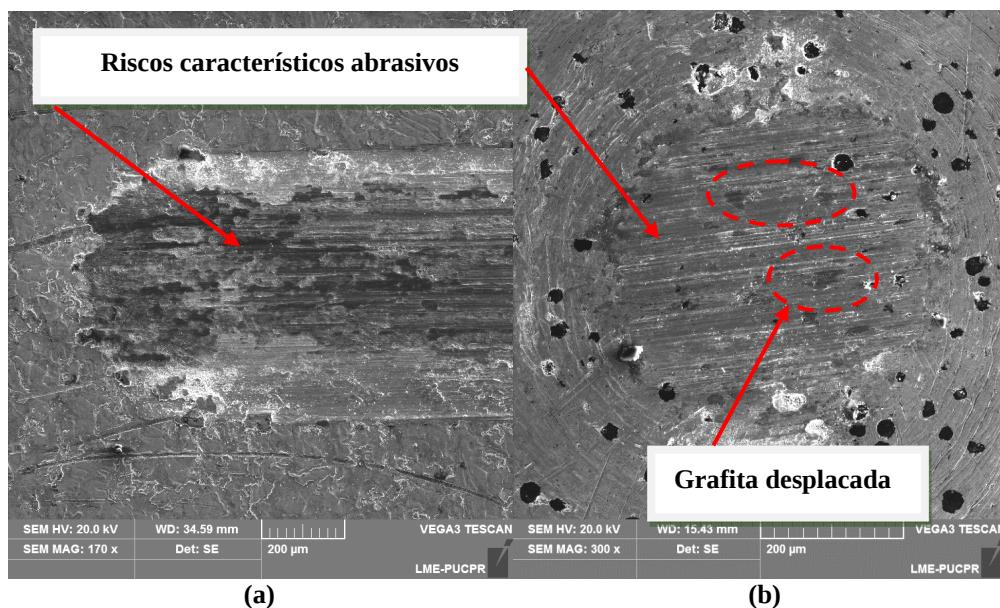


Figura 8. – (a) – Trilha de desgaste da chapa IF x pino posição S - superfície (b) Superfície de desgaste do pino de ferro fundido nodular na posição S - superfície (O Autor, 2015)

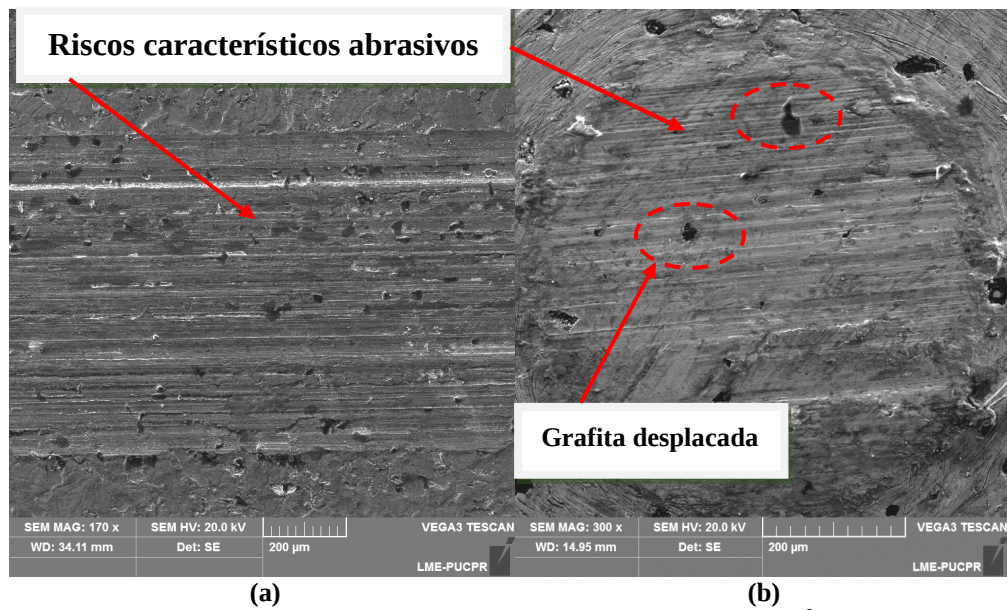


Figura 9. – (a) – Trilha de desgaste da chapa IF x pino posição MR – meio raio (b) Área de desgaste do pino de ferro fundido nodular na posição MR – meio raio (O Autor, 2015)

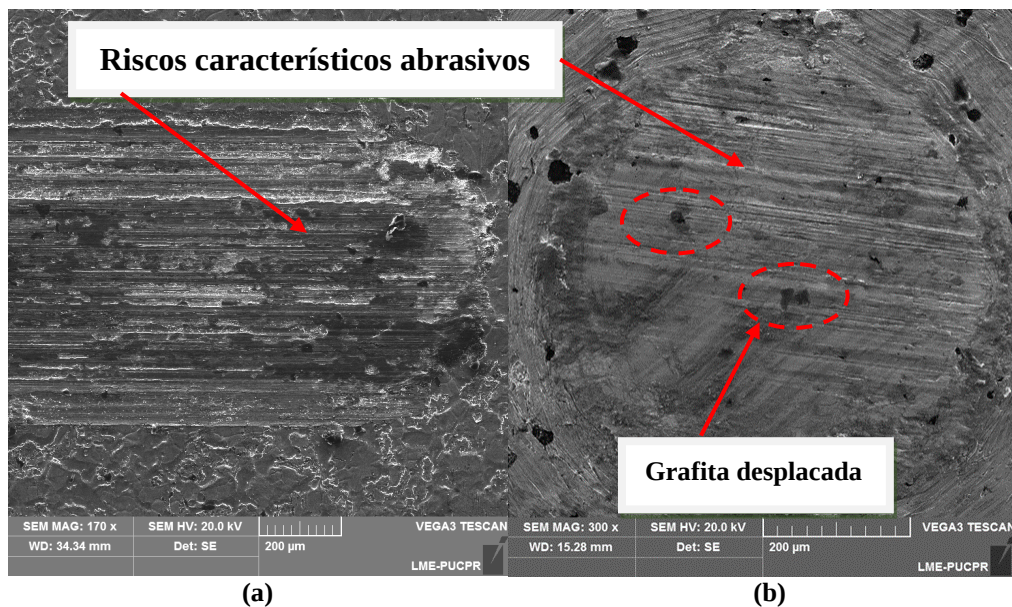


Figura 10. – (a) – Trilha de desgaste da chapa IF x pino posição C – centro (b) Área de desgaste do pino de ferro fundido nodular na posição C – centro (O Autor, 2015)

Nas imagens, as trilhas de desgaste da chapa de aço identificam riscos severos característico abrasivo, e nitidamente com remoção de material. Os pinos de ferro fundido nodular também evidenciam o desgaste abrasivo, porém, em todas as posições das amostras existe remoção de nódulos de grafita durante o ensaio tribológico. De forma geral a grafita do ferro fundido nodular é arrancada durante o ensaio e reage no deslizamento recíproco como um lubrificante. Esse efeito lubrificante obtém maior concentração na amostra posição (S) - superfície, amostra com maior quantidade de nódulos/mm².

Na Figura 11, mostra o gráfico por amostra, (S, MR e C), com a taxa de desgaste em volume (mm³).

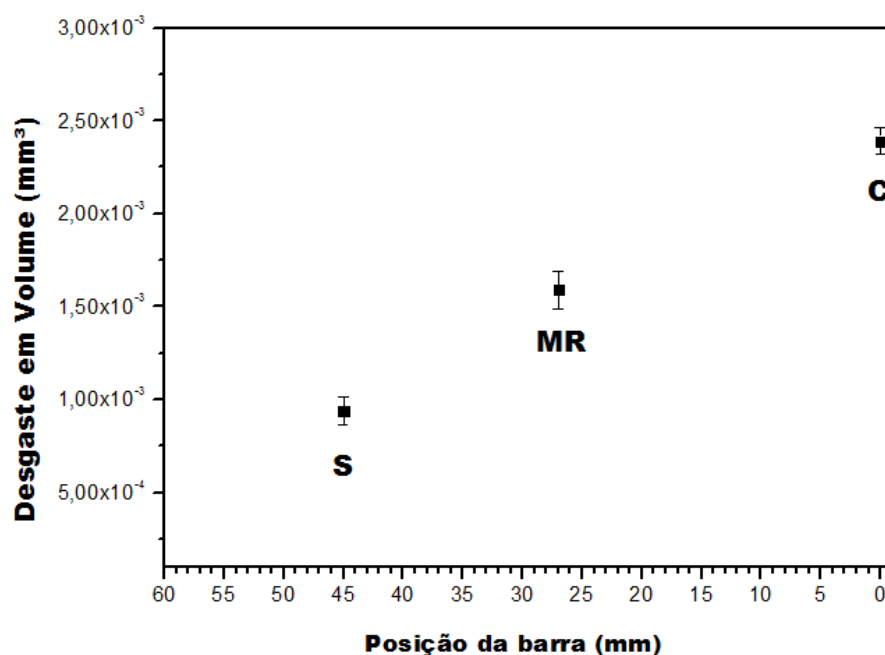


Figura 11. – Gráfico do desgaste em volume dos pinos de ferro fundido nodular em cada posição, S, MR, C (O Autor, 2015)

Com os cálculos da taxa de desgaste, foi possível identificar um maior volume desgastado na amostra de posição (C) – centro. Este resultado mostra uma condição inversamente proporcional sobre a quantidade de nódulos/mm², ou seja, neste estudo quanto menor a quantidade de nódulos/mm², maior foi a taxa de desgaste do ferro fundido nodular em deslizamento com a chapa de aço EEP-IF.

Na Figura 12, mostra as imagens dos pinos de ferro fundido nodular geradas em EDS, (S, MR e C).

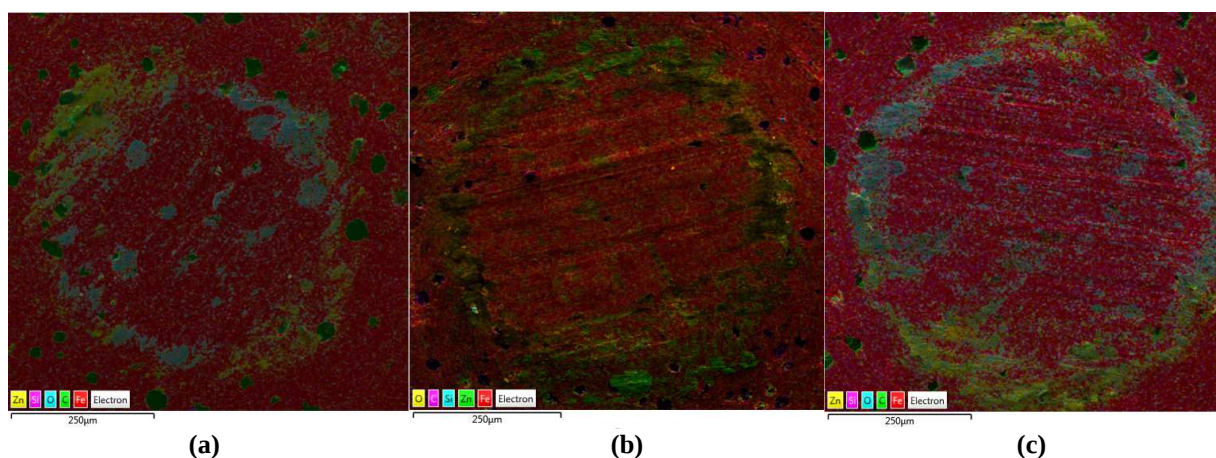


Figura 12. – Imagens em EDS dos pinos de ferro fundido nodular, (a) S - superfície, (b) MR – meio raio e (c) C - centro (O Autor, 2015)

Nas imagens em EDS, os pinos foram identificados os elementos químicos constituintes em um ferro fundido nodular como: Fe (ferro), Si (silício) e C (carbono), e presença de O (oxigênio) e Zn (zinco). O oxigênio provavelmente devido ao aquecimento durante o ensaio, e o zinco foi aderido da chapa durante o ensaio na superfície de contato do pino de ferro fundido nodular, formando um mecanismo de desgaste adesivo no tribo-sistema.

4. CONCLUSÃO

Durante os estudos tribológicos, todas as amostras de ferro fundido nodular (S, MR e C), mostraram resultados semelhantes no coeficiente de atrito, inicialmente atingem valores de 0,85µ até uma distância de 1 m, decrescem a 0,45µ até 2 m, e seguem uniforme em todas as amostras em uma média de 0,45µ até o final do ensaio com distância de 10 m. A taxa de desgaste neste estudo, foi possível identificar um maior volume desgastado na amostra de posição (C) – centro, posição de menor número de nódulos/mm², um dos motivos desse resultado, pode ser relacionado com o desgaste abrasivo ocorrido durante o ensaio, onde a perlita de maior porcentagem nesta amostra (C) – centro, tenha se deslocado do pino de ferro fundido nodular durante o ensaio, e reagido como um terceiro corpo e abrasivo, causando

um maior desgaste em volume nesta posição (C) – centro. Contudo neste estudo concluímos que para coeficiente de atrito não há diferenças significativas quando alterado o número de nódulos/mm² nas amostras de ferro fundido nodular em deslizamento com chapa de aço EEP-IF. E em taxa de desgaste maior é o volume desgastado nas amostras de ferro fundido nodular quando a quantidade de nódulo/mm² é menor em deslizamento com a chapa de aço EEP-IF.

5. REFERÊNCIAS

- Abbasi H. R., Bazedar, M., Halvae, A., “Effect of phosphorus as an alloying element on microstructure and mechanical properties of pearlitic gray cast iron” – *Materials Science and Engineering*, 444, pg 314-317.
- Abedi H.R., Fareghi A., Saghafian H., Kheirandish S.H., “Sliding wear behavior of a ferritic-pearlitic ductile cast iron with different nodule count” – *Wear*, 268 (2010) – pg 622 – 628.
- Ângelo JR., Edvaldo Casagrande. Caracterização de Ferro Fundido Nodular Obtido por Fundição Contínua. PUC-PR, Curitiba/Pr. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, agosto de 2003.
- Antoni Wladyslaw Orłowicz, Andrzej Trytek “Effect of rapid solidification on sliding wear of iron castings” - *Wear* 254 (2003), pg 154 – 163.
- ASM Handbook, (1992), “Friction, Lubrication, and Wear Technology”, V.18, ASM International.
- ASTM International G133-05 (2010), Standard Test Method For Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear. Catálogo Técnico Fundição Tupy – Fundição Contínua- FUCO®, 2007, www.tupy.com.br.
- de Souza J.H.C., Liewald M., Analysis of the tribological behavior of polymer composite tool materials for sheet metal forming, *Wear*, 268 (2010) pg 341-248.
- DIN EN 10204: 2004., Norma europeia “Produtos Metálicos – Tipos de Certificados e Ensaio”.
- DIN EN 10327: 2004., Norma europeia “Continuously Hot-Dip Coated Strip and Sheet of Low Carbon Steels for Cold Forming”
- DIN EN 1563., Norma europeia “Fundição Ferros Fundidos com Grafita Esférica” Versão alemã EN 1563 : 1997 + A1:2002 + A2:2005.
- Dommarco R.C., Jaureguiberry A.J., Sikora J.A., “Rolling contact fatigue resistance of ductile iron with different nodule counts and matrix microstructures” – *Wear*, 261 (2006), pg 172 – 179.
- Dommarco R.C., Sousa M.E., Sikora J.A., Abrasion resistance of high nodule count ductile iron with different matrix microstructures – *Wear*, 257 (2004), pg 1185 – 1192.
- Groche P., Moeller N., Hoffmann H., SUH J., Influence of gliding speed and contact pressure on the wear of forming tools, *Wear*, 271 (2011) pg 2570-2578.
- Guesser, Wilson Luiz. Propriedades mecânicas dos ferros fundidos – São Paulo: Editora Blucher, 2009.
- Hutchings I.M. Tribology Friction and Wear of Engineering Materials. Edward Arnold, London, 1992.
- Kato, K. Adachi, K., 2001, “Wear Mechanisms”, MODERN TRIBOLOGY HANDBOOK, Ed. CRC Press LLC Vol.2
- Kirkhorn L., Bushiya, V., Andersson M., Stahl J.-E., The influence of tool steel microstructure on friction in sheet metal forming, *Wear*, 302 (2013) pg1268-1278.
- Laino S., Sikora J.A., Dommarco R.C. “Development of wear resistant carbide austempered ductile iron (CADI)” – *Wear*, 265 (2008), pg 1 – 7.
- Le Roux S., Boher C., Penazzi L., Dessain C., Tavernier B., A methodology and new criteria to quantify the adhesive and abrasive wear damage on a die radius using white light profilometry, *Tribology International*, 52 (2012) pg 40-49.
- Luis N. López de Lacalle, Lamikiz A., Sánchez J.A., Arana J.L. “Improving the surface finish in high speed milling of stamping dies” - *Journal of Materials Processing Technology*, 123 (2002) 292–302.
- Lukasz Wojciechowski., Thomas G. Mathia., Conjecture and paradigm on limits of boundary lubrication, *Tribology International*, 82 (2015) pg 577-585.
- Mark Beltowski., Peter J. Blau., Qu J., Wear of spheroidal graphite cast irons for tractor drive train components, *Wear*, 267 (2009) pg 1752-1756.
- Meric C., Sahin S., Backir B., Koksall N.S., “Investigation of the boronizing effect on the abrasive wear behavior in cast Irons” - *Materials and Design*, 27 (2006) 751–757.
- Mircea Terheci., Microscopic investigation on the origin of wear by surface fatigue in dry sliding, *Materials Characterization*, 45 (2000) pg 1-15.
- Miyauchi T., Tsujimura T., Handa K., Nakayama J., Shimizu K. “Influence of silicon carbide filters in cast iron composite brake blocks on brake performance and development of a production process” – *Wear*, 267 (2009), pg 833 – 838.
- Pintaude G., Bernardes F.G., Santos M.M., Sintora A., Albertin E. “Mild and severe wear of steels and cast irons in sliding abrasion” – *Wear*, 267 (2009), pg 19 – 25.
- Ramadan M., Nofal A.A., Elmahalawi I., Abdel-Karim R., “Influence of graphite nodularity on microstructure and processing window of 1.5% Ni–0.3% Mo austempered cast iron” - *Materials Science and Engineering A* 435–436 (2006) 564 –572.
- Sugwon Kim, Cockcroft S.L., Omran A.M., “Optimization of the process parameters affecting the microstructures and properties of compacted graphite iron” - *Journal of Alloys and Compounds*, 476 (2009) 728–732.

INFLUENCE OF NODES AMOUNT IN THE WEAR RESISTANCE OF NODULAR CAST IRON IN SLIDING TEST WITH INTERSTITIAL FREE (IF) DEEP-DRAWING STEEL SHEET

Sergio Luiz Manenti¹, sergio.manenti27@gmail.com

Ricardo Diego Torres¹, ricardo.torres@pucpr.br

Carlos A. H. Laurindo¹, carlos.laurindo@pucpr.br

Paulo Soares¹, pa.soares@pucpr.br

¹Pontifícia Universidade Católica, PUC-PR, Imaculada Conceição street, 1155. Zip Code 80215-901, Curitiba, Pr - Brazil

Abstract. The aim of this study was to evaluate the influence of nodes amount in the wear resistance of nodular cast iron pins in linearly reciprocating ball-on-flat sliding test with an interstitial free (IF) deep-drawing steel sheet. Three nodular cast iron pins were obtained from a continuous casting iron bar, FUCO® process, from different bar positions: surface (higher cooling rate), half radius (intermediate cooling rate) and center (lower cooling rate). From the FUCO® bar position was possible to vary the pins microstructures, mainly, in terms of numbers and sizes of the graphite nodules. Then, a linearly reciprocating ball-on-flat sliding tribological test was conducted, following ASTM133-05 procedures, applying the three pin samples in contact with an interstitial free (IF) deep-drawing steel sheet (DX56D + Z + ZA) HDG GI coated with zinc and 5% aluminum, hot galvanized with minimized crystal. Thus, the wear rate and friction coefficient were determined in the tests. The prior samples characterization demonstrated that the graphite weight percentage was maintained at 12% along the bar cross-section for all the three positions, (surface, middle radius and center). The nodes number encountered was 827 nod/mm², 638 nod/mm² and 518 nod/mm² for the surface, middle radius and center positions respectively. It was observed that perlite percentage increases from the surface to the center of the bar, in the other hand, the ferrite percentage decreases from the surface to the center of the bar. Also, the hardness increases as the same of perlite percentage, from the surface to the center of the bar. Moreover, the nodularity degree was found over 80% along the entire bar. The results of tribological test exposed that the coefficient of friction did not change significantly between the samples. The lower wear volume was presented in the sample of the bar surface position. In the center position, it is possible that the perlite, hardest phase, is acting as a third body increasing the abrasive wear. Additionally, chemical analysis was conducted in the interstitial free (IF) deep-drawing steel sheets and presented zinc with oxygen, possible from the coating reacting with the atmosphere due to the heating during the tests. In sum, all the plates showed severe wear tracks with abrasive wear characteristics.

Keywords: Nodular Cast Iron, tribology, wear, Conformation.