



21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

AVALIAÇÃO TRIBOLÓGICA DOS FERROS FUNDIDOS CINZENTO E VERMICULAR EM ENSAIO DE RISCAMENTO

Matheus Cortz, matheusc32@hotmail.com¹

Vinicius Moreira Silva Bertolini, vini.bertolini@gmail.com¹

Carlos Henrique da Silva, carloschs@utfpr.edu.br¹

João Luiz do Vale, joaovale@utfpr.edu.br²

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Curitiba.

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Londrina.

Resumo: A superfície brunida dos cilindros de um motor a combustão interna (MCI), possui uma topografia típica dividida em platôs e sulcos. Em especial, os sulcos estão associados à lubrificação e funcionam como reservatórios, permitindo que o óleo flua entre os platôs. Estudos recentes que avaliaram superfícies brunidas de ferro fundido cinzento e vermicular, com duas espessuras de parede, mostram que a largura dos sulcos de brunimento apresentaram grande dispersão e valores estatisticamente iguais. Ainda, constatarem-se diferenças na fração e número de grafitas e forte correlação entre a fração de grafita e ocorrência de metal dobrado. Diante disso, verificar a resposta tribológica proveniente do estudo do processo de riscamento nestas mesmas amostras, mostrou-se uma oportunidade. Neste trabalho foram realizados ensaios de riscamento (scratch test) utilizando uma ferramenta de corte com geometria definida feita de carbeto de tungstênio. Os riscos foram realizados em uma das direções convencionais de brunimento em relação ao eixo axial do cilindro. A carga normal utilizada no tribômetro foi de 0,6 N com uma velocidade de 0,17 mm/s resultando em um risco de 2,5 mm de comprimento. Para as demais caracterizações utilizou-se: microscópio óptico, interferômetro de luz branca e microscópio eletrônico de varredura. Verificou-se que a grafita teve significativa influência nos ensaios, causando grande variação do coeficiente de atrito (COF) e na largura dos sulcos, marcadamente em transições de regiões de menor para maior fração localizada de grafita. O COF médio mostrou correlação direta com o número de grafitas e inversa com a macrodureza dos materiais. Observaram-se que devido a presença da grafita ocorreram fenômenos de exposição e recobrimento desta e lascamento de porções da matriz do material próximos a veios de grafita. Por fim, verificou-se a formação de metal dobrado relacionado diretamente com a grafita, mostrando que esta fase tem relação direta com a ocorrência deste fenômeno.

Palavras-chave: Ferro fundido cinzento; Ferro fundido vermicular; Ensaio de riscamento, Grafita; Mecanismos de desgaste; Metal dobrado.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os diversos aspectos estudados no projeto e construção de um motor de combustão interna (MCI) destaca-se neste trabalho o sistema tribológico formado entre a parede do cilindro e os anéis do pistão. Segundo Stachowiak e Batchelor (2001) grande parte das perdas de rendimento por atrito de um motor ocorrem neste par.

O atrito, no par cilindro-anel, está diretamente relacionado com o acabamento das superfícies em contato, especialmente a do cilindro (Mocellin, 2007). Esta superfície comumente é obtida por brunimento, tendo como características de sua textura os platôs e sulcos. Em especial, os sulcos são de grande importância para a lubrificação do sistema uma vez que permite que o óleo flua entre os platôs (Cabanettes *et al.*, 2014), sendo responsáveis também pela retenção de óleo na parede (Mocellin, 2007). Esta topografia, também está relacionado ao desgaste, a vida útil e a emissão de poluentes de um MCI (Mezganiet. *al.*, 2013).

Outro importante aspecto a ser observado é o material de construção do cilindro. Frequentemente, os ferros fundidos são utilizados na fabricação dos cilindros, os quais possuem características que podem influenciar no atrito com o anel (Chiaverini, 2012). Estas características são fortemente influenciadas pela fase grafita, a qual pode atuar como lubrificante sólido no par tribológico e também é responsável por causar uma descontinuidade na matriz do material. Alguns fatores como o material do molde de fundição e a espessura da parede da peça fundida podem afetar a

formação da grafita. Os bloco de MCI comumente apresentam diferentes espessuras de parede, ao longo do eixo axial, e consequentemente diferentes taxas de resfriamento em cada seção. Paredes mais espessas tendem a sofrer um resfriamento mais lento, propiciando uma maior decomposição da cementita em ferrita e grafita; com isso, observa-se maior fração de grafitas em maiores espessuras (Mocellin, 2007).

Estudo recente de Vale (2016) avaliou amostras de ferro fundido cinzento e vermicular com duas espessuras de parede obtidas a partir de blocos de MCIs. Através de uma técnica de análise de imagem proposta foi verificado que as larguras dos sulcos são estatisticamente iguais e com grande dispersão. Isso foi associado ao processo de fabricação no qual os gumes de corte da ferramenta de brunimento possuem uma geometria indefinida. Ainda, observaram-se grande obstrução de sulcos de brunimento por material dobrado (*folded metal*) e forte correlação entre esta grandeza e a fração de grafita para os materiais avaliados (Vale, 2016). Segundo Mezghani *et al.* (2007) o metal dobrado tende a aumentar o COF; e caso seja removido durante a operação pode causar abrasão a três corpos resultando em riscos axiais no cilindro (Papadopoulos, 2007). Estudos de Pretko *et al.* (2014) apresentaram resultados de redução de metal dobrado em ensaios de desgaste de cilindro-anel realizado em ferro fundido vermicular.

Diante disso, verificar a resposta tribológica, dos mesmos materiais avalidos por Vale (2016), em um processo de riscamento, mostrou-se uma oportunidade. Este estudo objetiva avaliar os fenômenos ocasionados por um processo de riscamento em uma das direções de sulcos de brunimento, a partir de uma superfície plana e polida. Além das avaliações de geometria de sulco e de coeficiente de atrito, buscou-se a caracterização dos fenômenos de remoção de material e sua correlação com grafita e propriedades da matriz dos materiais. Ao contrário do processo de brunimento, neste estudo, propõe-se realizar o riscamento com uma ferramenta de corte com geometria definida, permitindo assim uma melhor compreensão dos mecanismos envolvidos diante de uma geometria de corte conhecida e condições de corte controladas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

As amostras foram retiradas de cilindros de MCI de dois materiais distintos: ferro fundido cinzento (FC 250) e ferro fundido vermicular (GJV 250) cujas informações sobre as respectivas propriedades mecânicas estão disponíveis em Guesser (2009).

Neste bloco de MCI existem regiões com paredes de espessuras diferentes. Assim, as amostras foram retiradas de dois quadrantes dos cilindros, de forma que os corpos de prova tivessem espessuras distintas. As amostras de parede grossa (PG) apresentaram espessura de 7,4 ($\pm 0,4$) mm, enquanto esta medida para as amostras de parede fina (PF) foi de 3,9 ($\pm 0,6$) mm.

As amostras foram embutidas obedecendo a um padrão de posicionamento pré-estabelecido. Tal processo teve como objetivo preservar a direção axial do cilindro para que todas as análises realizadas mantivessem como referência a face de fogo (superfície superior do cilindro na qual é montado o cabeçote).

2.2. Metodologia dos ensaios de riscamento

Os ensaios de riscamento foram executados em equipamento CETR-UMT- Bruker (*Comprehensive Materials Testing for Mechanical Tribological Properties*), apresentado na Figura 1 (a) e disponível no Laboratório de Superfícies e Contato (LASC) da UTFPR. Além disso, para permitir a fixação adequada dos corpos de prova na base do tribômetro, um dispositivo foi projetado e construído, o qual é apresentado na Figura 1(b).

Utilizou-se a célula de carga de 10 N com frequência de aquisição de dados de 1 kHz e com intervalo de aquisição do equipamento de 0,001 s. Os dados obtidos em cada instante de tempo são: tempo (t [s]), força normal (F_N [N]), força de atrito (F_{at} [N]), coeficiente de atrito cinético (COF [-]) e a posição da base (x [mm]).

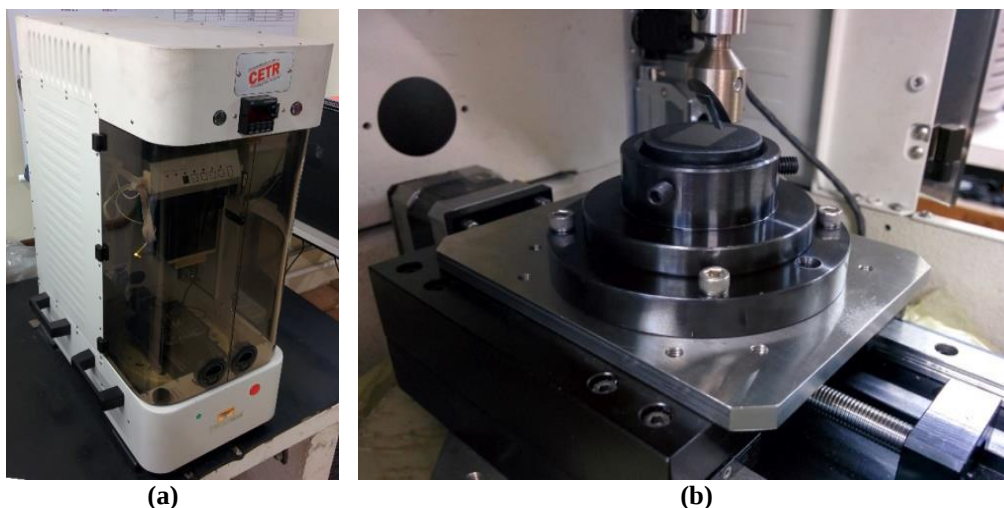


Figura 1. (a) Aparato utilizado para realização dos ensaios. (b) Dispositivo montando sobre a base do tribômetro.

A ferramenta utilizada no riscamento foi de carbeto de tungstênio (WC), com geometria triangular e raio da ponta de 0,4 mm. A pré-carga e a força normal para os ensaios foram de 2 e 0,6 N, respectivamente. A amostra foi posicionada à um ângulo de 15° em relação ao eixo axial da amostra. Esta direção foi escolhida, pois é um dos ângulos dos sulcos de brunimento. Entende-se que este procedimento é importante devido à anisotropia destes materiais. O comprimento do risco e a velocidade de avanço foram definidos como 2,5 mm e 0,17 mm/s, respectivamente. Realizaram-se cinco repetições em cada amostra.

2.3. Caracterização das amostras

A quantificação da grafita foi realizada aplicando-se rotina desenvolvida em MATLAB® em imagens metalográficas sem ataque químico. Foram avaliados dois parâmetros: a fração de grafita e o número de grafitas. Uma discussão e quantificação mais ampla, para estes materiais, podem ser encontrados em Vale (2016). Os resultados apresentados são médias e desvios padrão de 12 imagens.

Realizaram-se medições de macrodureza Vickers - HV 20, conforme norma NBR NM 188-1 ABNT (1999). Utilizou-se carga de 196,1 N e tempo de aplicação de carga de 10s. Devido à elevada dispersão dos dados para as amostras de cilindros, realizaram-se maior número de medições, em um total de 20. Esta dispersão é resultado da influência da grafita, que pode estar próxima a indentação ou logo abaixo da superfície. Para a apresentação dos dados, o 1° e 4° quartis foram desconsiderados com o intuito de eliminar medições muito afastadas da média.

Também, realizaram-se caracterizações nos riscos com microscopia eletrônica por varredura (MEV), em equipamento da Zeiss modelo EVO-MA15; e análise topográfica por interferometria de luz branca, em equipamento da Taylor Hobson modelo CCI Talysurf Lite. Em especial a interferometria foi realizada ao longo de todo risco.

Uma avaliação interessante foi conseguida através da discussão do comportamento do COF ao longo de todo risco. Além disso, cada resultado deste foi confrontado com as respectivas imagens metalográficas (microscopia ótica) e topográficas (interferômetro). Esse procedimento foi realizado em um único risco de cada material.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Coeficiente de atrito em função das propriedades dos materiais

O resultado do coeficiente de atrito (COF) médio é apresentado na Figura 2. Observa-se que este parâmetro foi diferente para cada material com maiores valores para o ferro fundido vermicular. Contudo, o COF mostrou-se independente da espessura do material com valores estatisticamente iguais, com 95% de confiança.

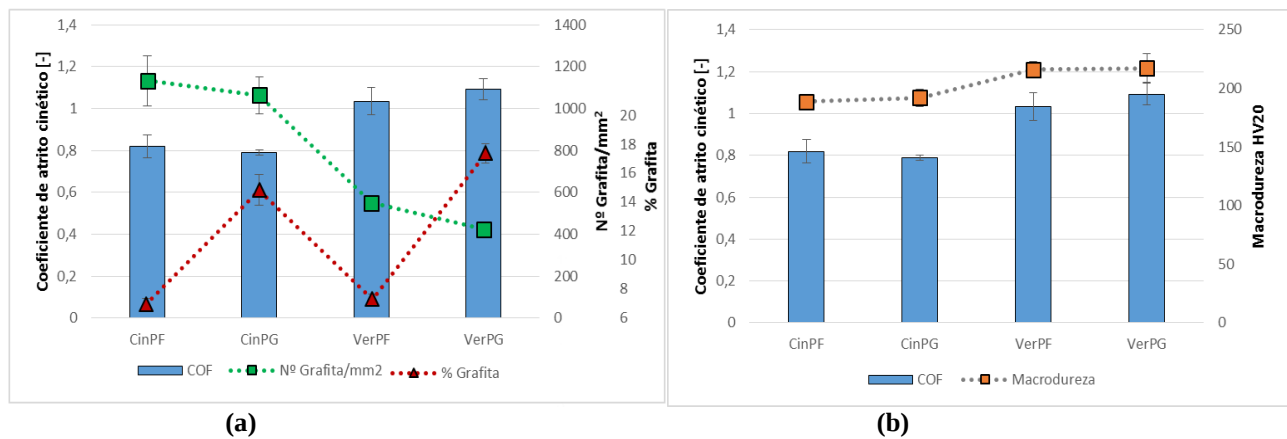


Figura 2. Correlação entre o COF e (a) número de grafitas por mm^2 e % de grafita; e (b) a macrodureza HV_{20} .

Buscando explicar o comportamento do COF, realizaram-se testes de correlação entre esta grandeza e os resultados de quantificação da grafita e da macrodureza dos materiais. Com isso, algumas conclusões relevantes foram obtidas. Verificou-se o COF teve forte correlação negativa com o número de grafitas, com valor de -0,987. Desta forma, o ferro fundido cinzento, que possui uma maior quantidade de grafita por mm^2 , obteve os menores valores de COF nos ensaios de riscamento, conforme é mostrado na Figura 2 (a). Todavia, o teste mostrou baixa correlação entre o COF e a fração de grafita, com valor de 0,23. De fato, a presença da grafita mostrou grande influencia nos ensaios de riscamento; e as discussões e evidências apresentadas nas seções seguintes, sugerem que as interações em regiões com maior número de grafitas foram mais efetivas na perturbação do COF e nos mecanismos observados na remoção de material.

Também, comprovou-se forte correlação, mas agora positiva, entre o COF e a macrodureza dos materiais, com valor de 0,977, conforme Figura 2 (b). Assim, amostras com valores menores de dureza (ferro fundido cinzento) ofereceram menor resistência ao avanço da ferramenta durante o riscamento, de forma que o COF médio é inferior nestes casos. Este comportamento era esperado já que a macrodureza mantém uma relação com a tensão última a tração (Callister, 2007).

3.2. Coeficiente de atrito em função da distância

As Figuras 3, 4, 5 e 6 apresentam os resultados de COF, para um risco realizado em cada material, em função do comprimento do risco, juntamente com suas respectivas imagens metalográficas e de topografias.

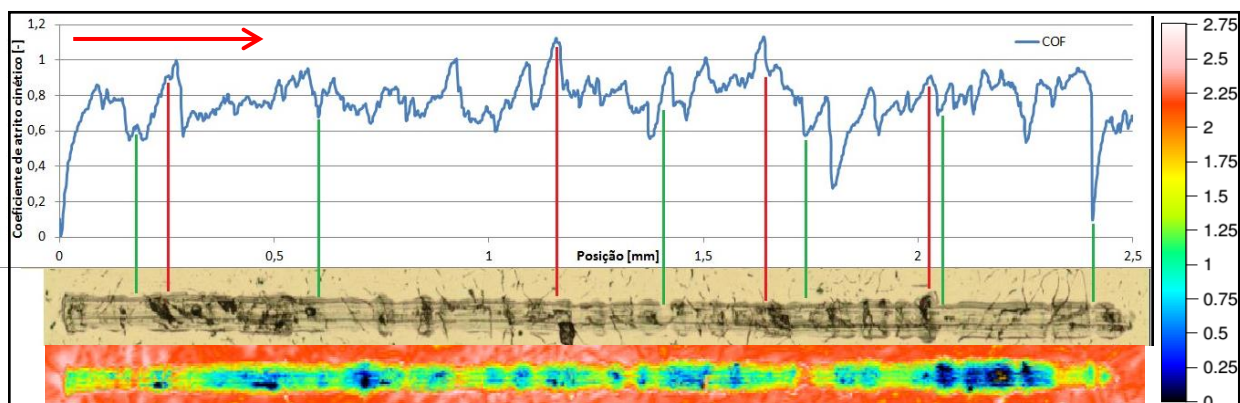


Figura 3. Correlação do COF, imagem do risco obtida por microscopia ótica e interferometria: CinPF.

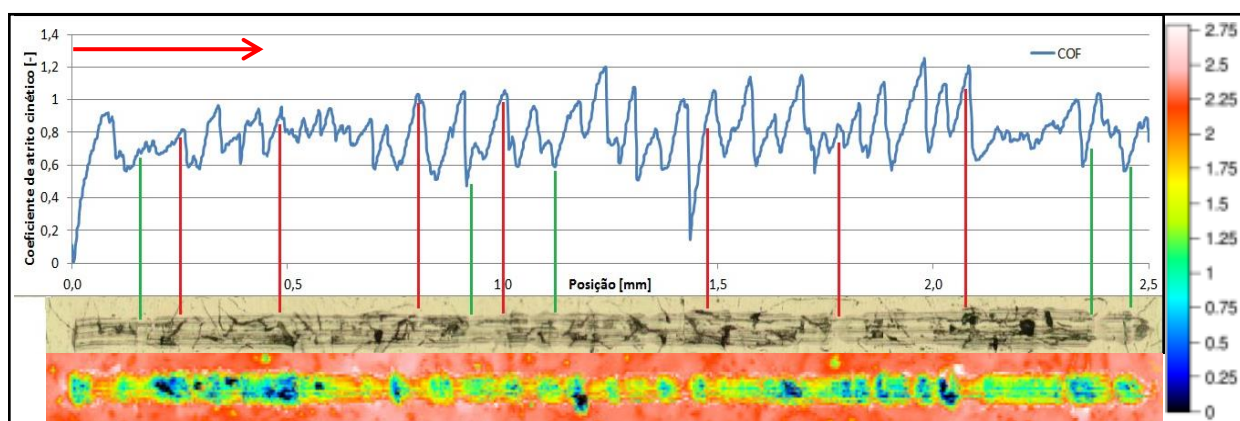


Figura 4. Correlação do COF, imagem do risco obtida por microscopia ótica e interferometria: CinPG.

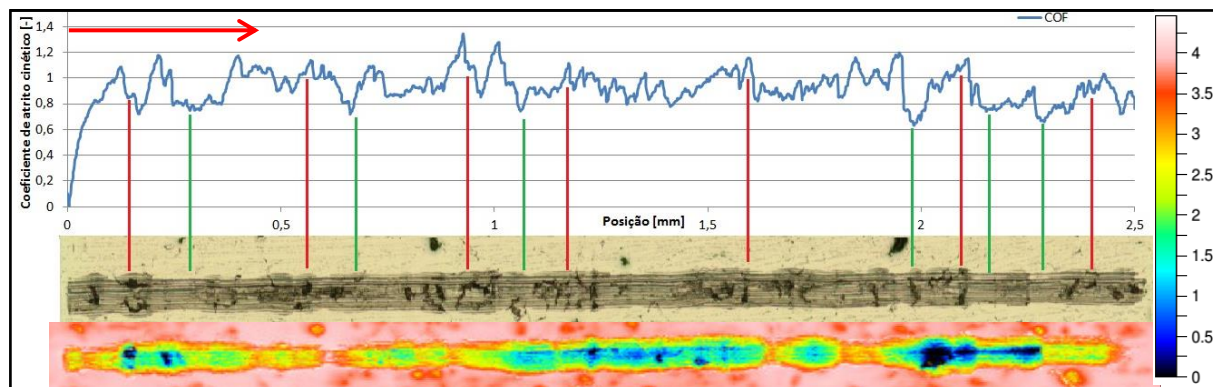


Figura 5. Correlação do COF, imagem do risco obtida por microscopia ótica e interferometria: VerPF.

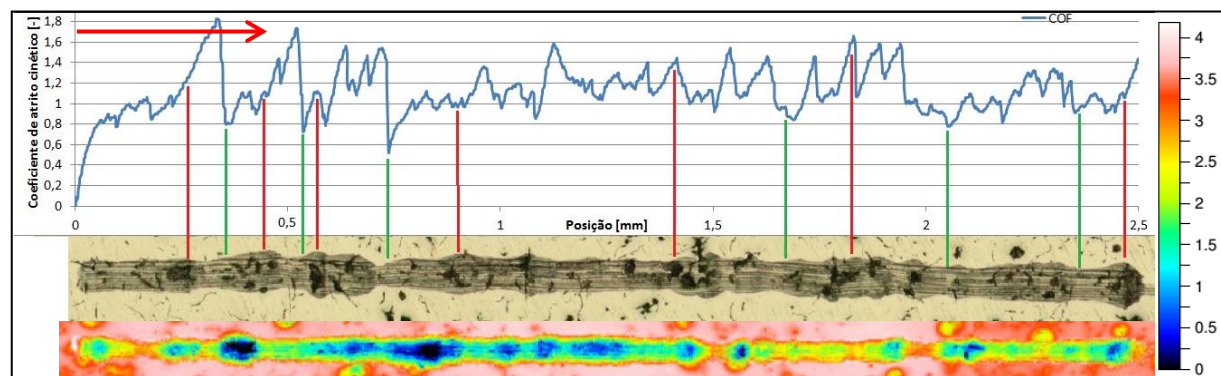


Figura 6. Correlação do COF, imagem do risco obtida por microscopia ótica e interferometria: VerPG.

Observa-se que o COF, de modo característico apresentou grande variação ao longo do ensaio de riscamento para todos os materiais. Chama-se a atenção para a grande influência que as grafitas tem no comportamento do COF. Causando mudanças bruscas em transições de regiões com menor número de grafitas, para uma região com maior quantidade. Também, verifica-se que regiões com mais grafitas tiveram a tendência de ter maiores larguras e profundidades de sulcos. Estas regiões são identificadas, nas figuras, com linhas verdes (menor concentração) e vermelhas (maior concentração de grafita).

Nota-se que na amostra de ferro fundido cinzento parede grossa (CinPG) são mais nítidos os picos e vales do gráfico do COF, comparando com o mesmo material de parede fina (CinPF). De forma geral, esta variação pode estar associada com uma maior formação de grafita na amostra de parede grossa. Este maior percentual de grafita tende a causar mais descontinuidades da matriz levando assim a quedas mais bruscas do coeficiente de atrito, de forma localizada.

Para as amostras de ferro fundido vermicular os resultados obtidos foram similares ao do cinzento. Especialmente na amostra de parede grossa (VerPG), mostrada na Figura 6, é nítido as quedas do COF associada a uma variação de largura do sulco. Como se trata de uma ferramenta de corte com geometria definida esta variação de largura está atrelada a um aprofundamento da ferramenta em zonas de maior concentração de grafita. Após a saída da ferramenta desta zona, o risco tende a um estreitamento e uma queda do COF, possivelmente decorrente da remoção de grafita. Através da escala de cores verificou-se também que para o ferro fundido vermicular (Figuras 5 e 6) a profundidade máxima ao longo do risco foi maior do que para o ferro fundido cinzento (Figuras 3 e 4), porém apresentando grande variação para todos os materiais.

Utilizando a técnica de interferometria de luz branca (IDLB), conforme mostrado na Figura 7 (a), foi possível realizar a medição de largura do sulco. Devido a grande variação de largura em cada seção transversal do sulco optou-se por traçar uma linha média a fim de representar a borda do sulco, conforme é apresentado na Figura 7 (b), e representar com menor dispersão a largura do sulco, representada por “L”.

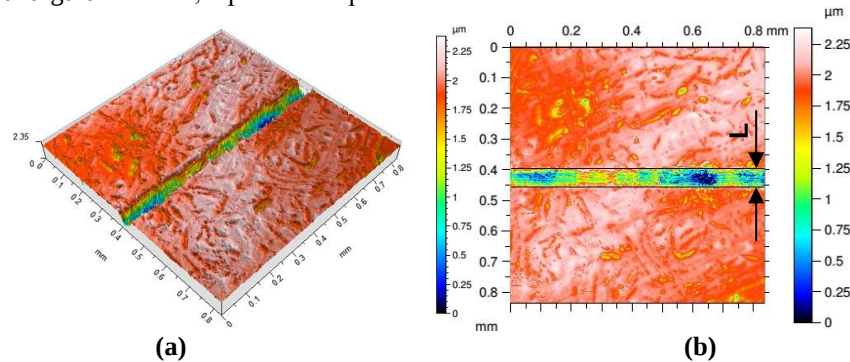


Figura 7. (a) Imagem em 3D obtida por interferometria e (b) detalhe da medição de largura (L) do sulco.

Os resultados de largura são apresentados na Figura 8. Estatisticamente, somente a amostra de ferro fundido cinzento parede grossa (CinPG) apresentou um valor de largura significativamente menor, muito embora seja possível verificar a tendência de materiais de parede fina ter menor largura de sulco.

Os resultados de largura de sulcos, a exemplo de quantificações das superfícies brunidas (Vale 2016), sugerem pouca influência da matriz do material para sulcamento com ferramenta de geometria definida e condições de ensaio controladas. Ainda, os valores de largura de sulco, conforme constatação nas Figuras 3-6, apresentam relação com a fração local de grafita durante a interação ferramenta-material.

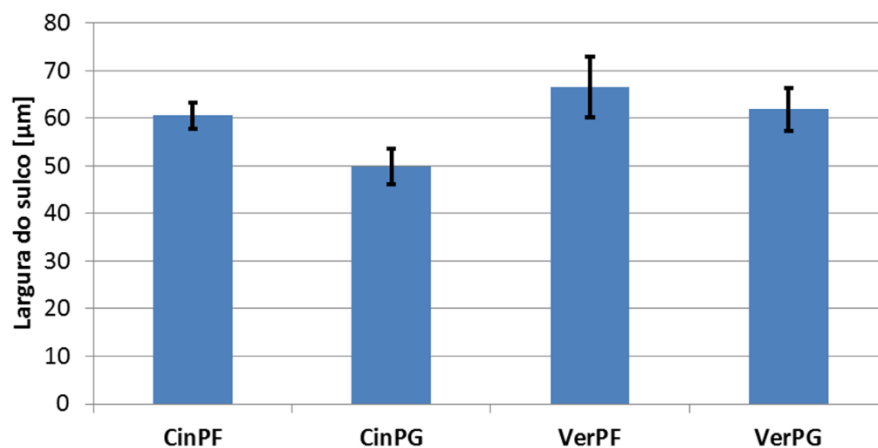


Figura 8. Média das larguras dos sulcos nas amostras.

3.3. Grafita versus mecanismos de desgaste

A presença de grafita nos materiais estudados teve papel fundamental para a ocorrência de alguns fenômenos durante o riscamento. A grafita sendo uma fase menos rígida que a matriz perlítica dos ferros fundidos estudados (Guesser, 2009), acaba atuando como uma descontinuidade para o material. Assim, durante a interação da ferramenta-material observaram-se alguns mecanismos e fenômenos que são apresentados a seguir.

O efeito mais evidente da grafita durante o riscamento foi as alterações na largura do sulco e no COF, conforme apresentado na seção anterior. A Figura 9 (a) mostra um exemplo de aumento da largura do risco para Cin-PG, de 48,1 para 63,3 μm . Observa-se que o aumento da largura aconteceu em uma região do material com maior fração de grafita, associada, então, com uma menor resistência mecânica. Outro exemplo relevante, apresentado na Figura 9 (b), é um estreitamento 90,3 para 69,2 μm , em uma região isenta de grafita.

Chama-se atenção para a presença de riscos de abrasão nas regiões de riscamento, associado ao mecanismo de desgaste abrasivo, que é característico nestes tipos de ensaio (Stachowiak e Batchelor, 2001).

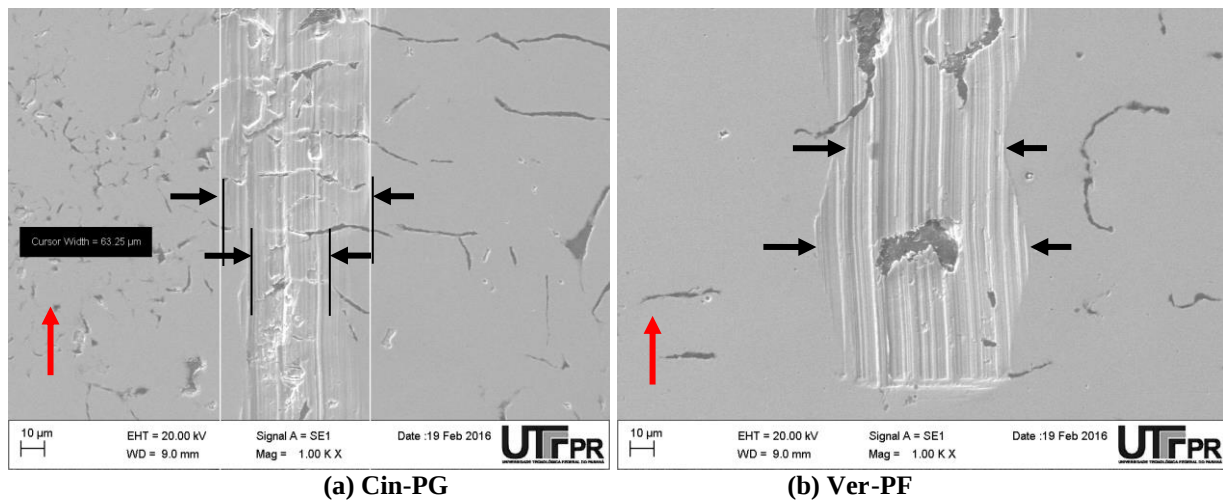


Figura 9. Exemplos de variação de largura do risco.

Outro fenômeno diretamente relacionado com a presença da grafita foi a ocorrência de metal dobrado durante o processo de riscamento. Este fenômeno foi observado nos quatro tipos de materiais estudados e de modo recorrente. A Figura 10 mostra exemplos de ocorrência de metal dobrado para o CinPF e VerPG. Pode-se observar que o metal dobrado, indicado pelas setas amarelas, teve a tendência de cobrir a grafita. Ainda, chama-se a atenção que o metal dobrado se apresentou como porções de material conectados a uma das bordas da grafita e o sentido em que se dá a cobertura desta é o mesmo sentido do riscamento, o qual é indicado pelas setas vermelhas. Entende-se, desta forma, que a descontinuidade da matriz, devido à grafita, faz com que haja perda de eficiência de corte; e através de um processo de "*burnishing action*" (Griffiths, 1986) essas porções de material são forçadas para dentro da grafita, por mecanismos de deformação plástica. Vale ressaltar que a orientação do veio de grafita, em relação ao sentido de riscamento, teve influência na ocorrência do metal dobrado; sendo que o fenômeno ocorre de modo predominante quando a grafita tende a estar perpendicular ao sentido do risco. A evidência da ocorrência de metal dobrado, associado diretamente à presença de grafita, corrobora conclusões em Vale (2016) que apresentou resultados em que houve forte correlação entre a fração de grafita e o percentual de metal dobrado para os mesmos materiais.

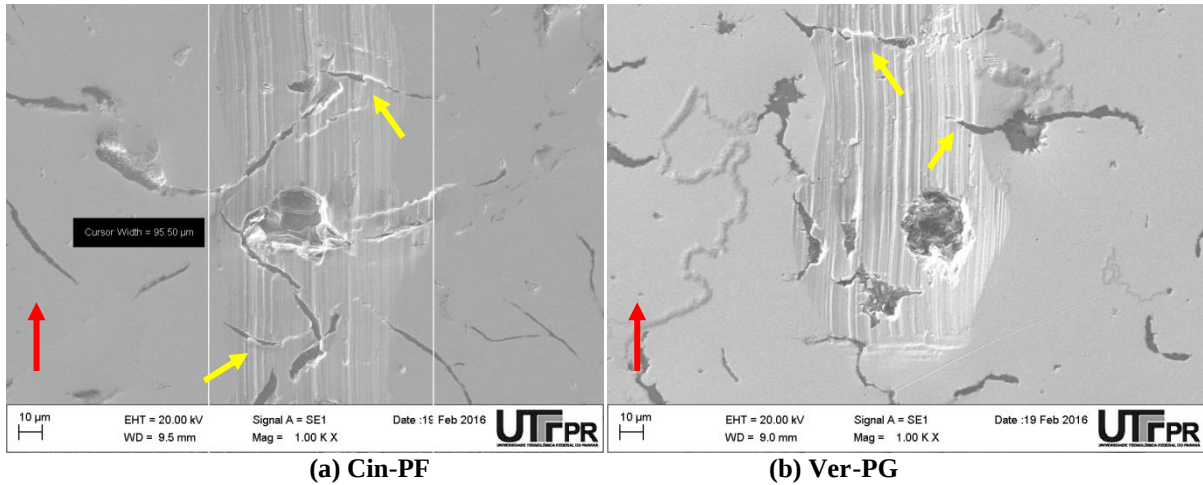


Figura 10. Exemplos de formação de metal dobrado: (a) Cin-PF (b) Ver-PG

Verificou-se também a tendência de recobrimento total da grafita, conforme apresentado na Figura 11 (a) e (b). Este fenômeno, indicado pelas setas verdes foi mais efetivo nas amostras de ferro fundido cinzento. Outro fenômeno, com ocorrência para todos os materiais e com efeito contrário ao anterior, foi a exposição da grafita, causada principalmente pela remoção de material sobre os veios desta. A Figura 11 (c) e (d) mostram alguns exemplos, indicados com setas azuis. Chama-se a atenção para a diferença de largura dos veios, que são maiores para a região do risco.

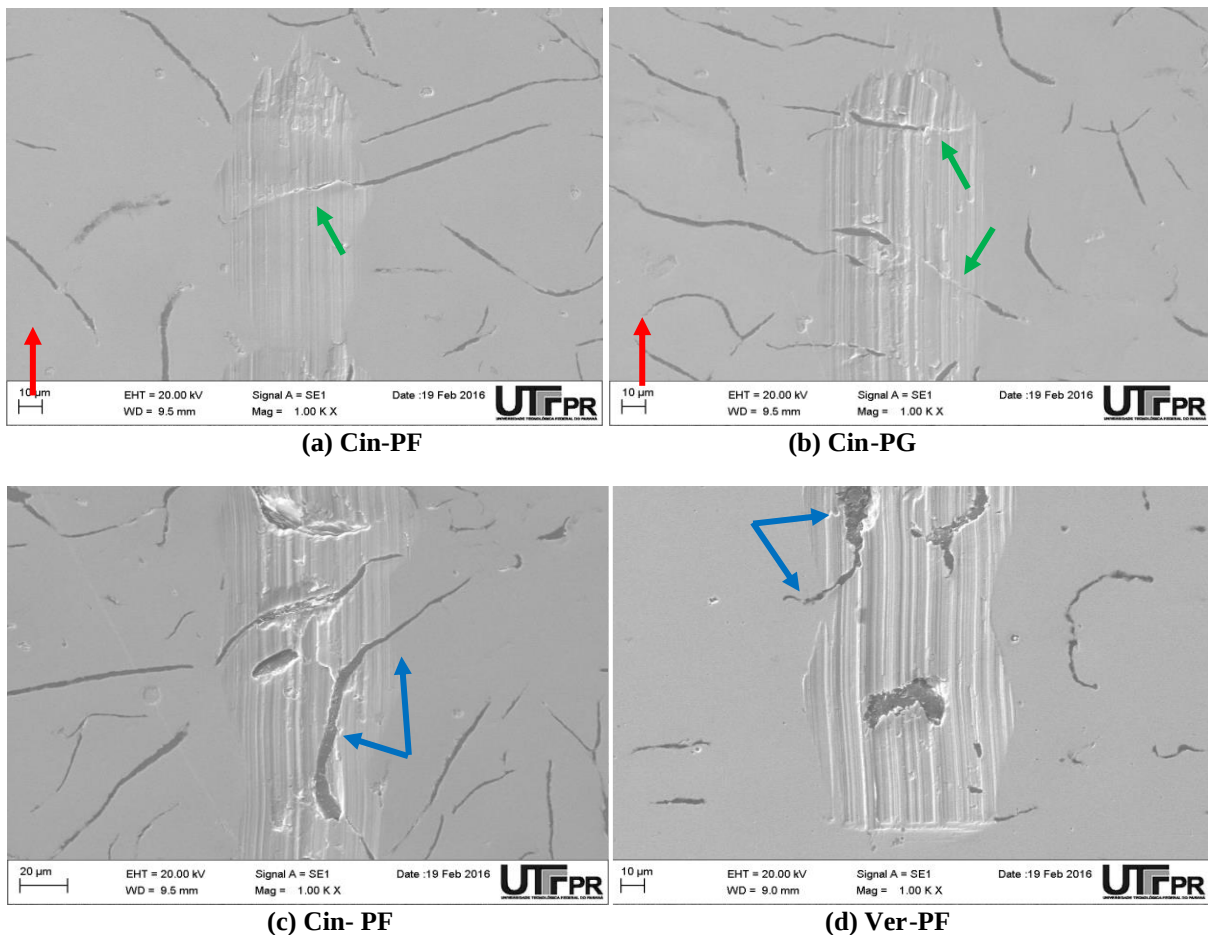


Figura 11. Exemplos da ocorrência dos fenômenos de recobrimento e exposição da grafita.

Observou-se também lascamento com remoção de fragmentos da matriz. Um exemplo mostrado na Figura 12 (a) possibilita verificar que o lascamento aconteceu sobre um veio de grafita, o qual deve ter contribuído para a redução da seção, com consequente aumento de tensão localizada e remoção preferencial de um fragmento de material, ao invés do processo de corte. Ainda na Figura 12 (b), verifica-se uma porção de material, indicada pela seta amarela, que está sobre

um veio de grafita e fracamente solidário à matriz. Entende-se que porções de material nestas condições foram propícias para o lascamento. Por fim, chama-se atenção que houve a exposição da grafita, como indicada na Figura 12 (b), com possível extrusão desta. Entende-se que a grafita no contato pode ter atuado como lubrificante sólido durante o processo de riscamento (Hutchings, 1992).

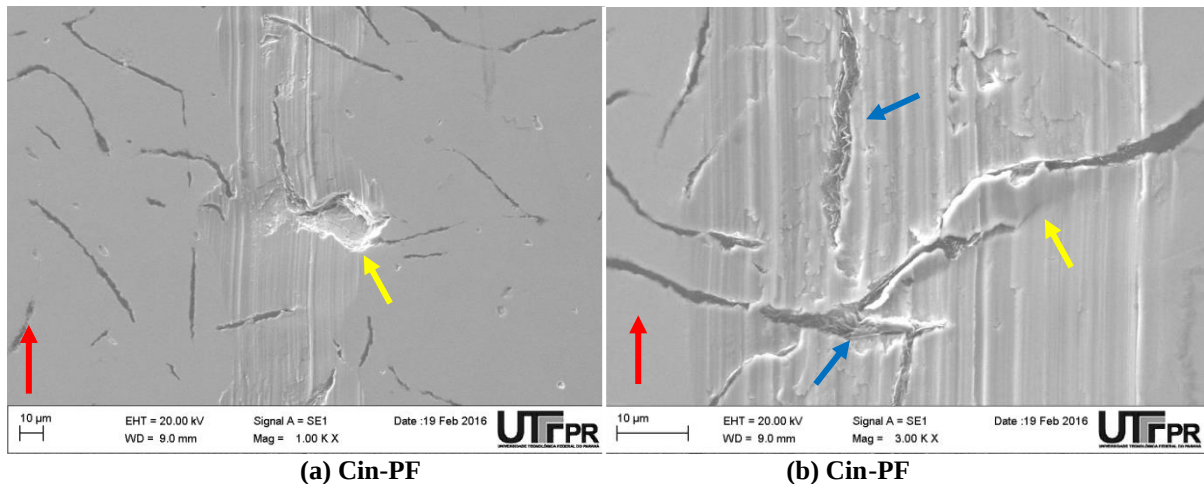


Figura 12. Exemplos do mecanismo de lascamento.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados do presente trabalho, em que se avaliou os ferros fundidos cinzento e vermicular em ensaios de riscamento, concluiu-se que:

- Não foi observada variação significativa do COF relacionada à espessura de parede do cilindro. Todavia, esse parâmetro foi distinto para cada material, apresentando maiores valores para o ferro fundido vermicular;
- Através de testes de correlação, O COF manteve forte correlação positiva com a macrodureza dos materiais; e forte correlação negativa com o número de grafitas.
- A presença de grafita teve considerável influência nos resultados dos ensaios de riscamento. Observou-se grande variação de COF e de largura dos riscos, principalmente em regiões de transição de menor para maior quantidade de grafita.
- Verificou-se que a grafita teve influencia nos mecanismos de dano observados durante o ensaio de riscamento. Citam-se: exposição e recobrimento total da grafita, lascamento de regiões próximas a veios de grafita e formação de metal dobrado. Em especial, a constatação de formação de metal dobrado, relacionado diretamente com a fase grafita, é uma conclusão relevante deste trabalho, corroborando resultados de pesquisas recentes sobre o tema.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM), ambos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Curitiba. Em especial ao Laboratório de Microscopia Eletrônica pelo apoio.

6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira De Normas Técnicas, Materiais metálicos – Dureza Vickers – Parte 1: Medição da dureza Vickers: NBR NM 188 – 1, Rio de Janeiro, 1999, p. 11.
- Cabanettes, F., 2005, “Characterization of Cylinder Liners by Image Analysis”, Masterthesis, Ecole Nationale d’Ingénieurs de Saint-Etienne – Halmstad University, Halmstad, Sweden.
- Callister, William D., 2007, “Materials Science and Engineering: An Introduction. 7. Ed”, New York: John Wiley & Sons.
- Chiaverini, V., 2012, “Aços e ferros fundidos: Características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos”, 7. ed., São Paulo: AMB.
- Dimkovski, Z., 2011, “Surface of Honed Cylinder Liners”, 2011. 75f. Tese de Doutorado – Chalmers University of Technology, Gothenburg.
- Griffiths, B.J., 1986, “Problems in Measuring the Topography of Machined Surfaces Produced by Plastic Deformation Mechanisms”, Wear. v. 109, p. 195–205.
- Guesser, W. L., 2009, “Propriedades mecânicas dos ferros fundidos”, São Paulo, SP: Blucher, 336 p. ISBN 9788521205012.

- Hutchings, I.M., 1992, "Tribology – Friction and Wear of Engineering Materials", Edward Arnold.
- Mezghani, S.; Demirci, I.; Zahouani, H.; Mansori, M. L., 2012, "The effect of groove texture patterns on piston-ring pack friction", *Precision Engineering*, v. 36, p. 210-217.
- Mocellin, F., 2007, "Desenvolvimento de tecnologia para brunimento de cilindros de blocos de motores em ferro fundido vermicular", 2007. 264 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Papadopoulos P., Priest M. and Rainforth WM., 2007, "Investigation of fundamental wear mechanisms at the piston ring and cylinder wall interface in internal combustion engines", *Proc. Inst. Mech. Eng., Part J: J. Eng. Tribol*; 221: 333-343.
- Pretko, W. C.; Pintaude, G.; Carlos, H. S.; Vale, J. L., 2014, "Avaliação da alteração de topografia e de *folded metal* em ferro fundido vermicular imposta por ensaio de desgaste", VII Mostra de pesquisas após-graduação, Curitiba.
- Sabeur, M.; Ibrahim, D.; Mohamed, E. M.; Hassan, Z., 2013, "Energy efficiency optimization of engine by frictional reduction of functional surfaces of cylinder ring– pack system", *Tribology International*. v. 59, p. 240-247.
- Stachowiak, G. W.; Batchelor, A. W., 2001, "Engineering Tribology", 2 ed. EUA: ButterworthHeinemann.
- Vale, J. L., 2016, "Influência da microestrutura de ferros fundidos na ocorrência de *folded metal* e no comportamento tribológico em superfícies brunidas", Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Mecânica e de Materiais). UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, *no prelo* 2016.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

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

TRIBOLOGICAL EVALUATION OF GRAY CAST IRON AND COMPACTED GRAPHITE CAST IRON BY SCRATCH TEST

Matheus Cortz, matheusc32@hotmail.com¹
Vinicius Moreira Silva Bertolini, vini.bertolini@gmail.com¹
Carlos Henrique da Silva, carloshs@utfpr.edu.br¹
João Luiz do Vale, joaovale@utfpr.edu.br²

¹ Federal University of Technology – UTFPR – Campus Curitiba.

² Federal University of Technology – UTFPR – Campus Londrina.

Abstract: *The honed surface of the cylinders of an internal combustion engine (ICE) has a texture that can be divided into plateaus and grooves. In particular, the grooves act as lubricant reservoirs, allowing the oil to flow between the plateaus. Recent studies of honed surfaces of gray and compacted graphite cast iron, with two different wall thicknesses, show that the width of the honing grooves have great dispersion and are statistically equal. Also, it was found differences in the fraction and number of graphite in addition to a strong correlation between the fraction of graphite and folded metal occurrence. Therefore, checking the tribological response from the scratching process on these samples proved to be an opportunity. This work carried out scratching tests using a cutting tool with a defined geometry made of tungsten carbide. Grooves were made in one of the conventional honing directions relatively to the cylinder axis. The normal load used on the tribometre was 0.6 N at a speed of 0.17 mm / sec resulting in a groove of 2.5 mm in length. For other characterizations were used: optical microscope, white light interferometre and scanning electron microscope. It was observed that graphite had a significant influence on the tests, causing great variation in the coefficient of friction (COF) and width of the grooves, particularly during the transition of regions with low to high fraction of graphite. The average COF showed a direct correlation to the number of grafitas and inverse to macrohardness of the materials. It was observed that due to the presence of graphite occurred phenomena of exposure and chipping of material near the graphite flakes. Finally, it was found that the folded metal formation is directly related to the graphite, showing that this phase has a direct relationship with the occurrence of this phenomenon.*

Keywords: Gray cast iron; Compacted graphite iron; Scratching test, Graphite; Wear mechanisms; Folded metal.