**ANÁLISE de DISCOS DE FREIO DO FERRO FUNDIDO CINZENTO FC250**

**Resumo**

**Os freios de um veículo, são componentes de geometria relativamente simples, e que atualmente são produzidos por um grande número de empresas. O ferro fundido cinzento FC250 é um dos mais utilizados pelas empresas do mercado de reposição de peças. O objetivo do trabalho foi o de analisar as modificações microestruturais em um disco de freio de ferro fundido cinzento FC250, conferir as modificações relacionadas a dureza e rugosidade da pista do disco comparando com os valores de perante um disco novo. Conclui-se pelas medidas e dados estatísticos da média e desvio padrão que a dureza do disco usado ficou superior e a rugosidade média menor, foi observado também mudanças na forma e tipo de grafitas. Portanto por meio da investigação da perda efetiva dos disco foi comprovado que as grafitas desempenham um papel importante da vida útil dos discos de freio.**

Palavras-chave: Ferro fundido cinzento, discos de freios ,grafita.

**ABSTRACT**

The brakes of a vehicle are relatively simple geometry components, which are currently produced by a large number of companies. FC250 gray cast iron is one of the most used by companies in the aftermarket. The objective of this work was to analyze the microstructural modifications in a FC250 gray cast iron brake disc, to check the changes related to the hardness and roughness of the disc track compared to the values of before a new disc. It can be concluded from the measurements and statistical data of the mean and standard deviation that the hardness of the disc used was higher and the average roughness smaller, it was also observed changes in the shape and type of graphites. therefore by investigating the actual disc loss it has been shown that graphite plays an important role in the service life of the brake discs.

**Keywords**: **Gray cast iron, micrographic analysis, graphite**.

1. INTRODUÇÃO

O freio a disco tem ampla utilização no mercado automotivo. O funcionamento desse modelo consiste na geração de força pressionando o material de fricção contra as faces de um disco em processo de rotação (SHIGLEY, 2005).

Segundo Limpert (1999), a maior vantagem no uso de freios a disco é o fato de sua temperatura de operação alcançar valores em torno de 800°C, sem perder propriedades atritantes e mecânicas.

De acordo com Brezolin; et al. (2007), o princípio de funcionamento do freio a disco se dá através do uso de um disco de metal com diâmetro menor que a roda do veículo, sendo presa a esta, girando com a mesma velocidade de rotação. Dois elementos planos de material de atrito (pastilha de freio) estão fixos em relação ao eixo do veículo, e de forma a poderem se movimentar no sentido perpendicular as duas faces do disco de atrito do disco de freio.

As pastilhas de freio ficam alojadas dentro de uma cela (cavalete de freio), que possui ao menos um pistão que converte a pressão em força capaz de pressionar as pastilhas contra o disco, provocando atrito. O atrito será responsável por reduzir a velocidade de rotação do disco e converter a energia cinética em calor.

Com o aumento da temperatura o sistema sofre dilatação, entretanto o aumento na espessura do disco não ocasiona folga entre disco e pastilha, como ocorre no sistema a tambor, não prejudicando assim o funcionamento e não causa perda de volume do fluido de freio, de maneira que não ocasiona nenhum aumento no curso do pedal de freio. Ainda, apresenta comportamento linear entre o torque de frenagem e o coeficiente de atrito entre pastilha e disco. O material deve ser capaz de suportar os esforços inerentes ao sistema bem como resistir a fadiga térmica, a qual é induzida no sistema devido aos ciclos de frenagem, que ora transfere calor ao disco esquentando-o e ora o disco transfere calor ao ambiente, resfriando-se. Os discos de freio produzidos, em sua grande maioria, são confeccionados em ferro fundido, podendo ser ainda de aço carbono ou aço inoxidável (ORTHWEIN, 2004).

Guesser et al. (2003), afirma que algumas dessas propriedades são fortemente influenciadas pela grafita, assim como pela matriz constituinte do material. Ainda de acordo com a norma VDG Merkblatt P441 (1962), a grafita pode ser classificada de acordo com sua forma, tipo e tamanho.

De acordo com Serbino (2005), os veios de grafita sofrem transformações conforme o tempo de uso do veículo. Por meio das imagens das grafit nas figuras 2 e 3 pode-se iniciar a discussão pelas classe e tipo de grafitas pertencentes de ferro fundido cinzento.

**Figura 1 –** Imagens dos tipos e formas das grafitas.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) Classe das grafitas | (b) Tipos das grafitas |

**Fonte:** (ISO 945-1:2008)

Onde:

Imagem (a)

* Classe I - Cinzenta
* Classe II - Intermediária
* Classe III – Vermicular
* Classe IV- Nodular Irregular
* Classe V - Nodular Incerta
* Classe VI – Nodular

Imagem (b)

A-Irregular desorientada: Placas finas e uniformes.

B - Roseta: Agrupadas por rosetas (radial).

C - Desigual irregular: Veios grosseiros.

D -Interdendritica desorientada: Segregada interdendriticamente (orientação randômica).

E -Interdendritica orientada: Segregada interdendriticamente (orientação preferencial).

**2 MATERIAIS E MÉTODOS**

Para o presente trabalho, foi utilizado dois discos de freio do tipo sólido e classificação H, um novo e um disco usado de 80000 quilômetros rodados. Buscou-se a princípio, fazer uma análise da espessura do disco onde utilizou-se do micrômetro para as medidas de espessura do disco. **Foram feitas as medidas da espessura mínima da pista TH, onde é a recomendação do fabricante para realizar a troca do disco de freio**.

Dividiu-se os discos em quatro amostras e cinco regiões em diferentes posições da pista, como: a1, a2, a3, a4, a5, b1, b2, b3, b4,b5, c1, c2, c3, c4, c5, d1, d2, d3, d4 e d5, onde essas regiões correspondiam das bordas ao centro das duas pistas interna e externas respectivamente.

Foram analisadas medidas de dureza para cada região das amostras, sendo analisada estatisticamente por média e desvio padrão. Para tanto, com o objetivo de relacionar as medidas de dureza tanto Brinell quanto Rockwell “C” e rugosidade média com as propriedades mecânicas foram analisadas as grafitas dos discos.

Para ajudar nas análises do projeto foram feitas análises metalográficas do disco usado e de um disco novo, foram feitas também análises de microscopia eletrônica de varredura. As imagens foram obtidas nos laboratórios da Centro Universitário de Volta Redonda e no INPE de São José dos Campos, a preparação metalográfica foram feitas na FATEC de Pindamonhangaba, o corte da peça, as medidas de dureza e todo o planejamento e discussão foram executados no SENAI de Cruzeiro.

As imagens da figura 1 representa um disco de freio novo com as seguintes dimensões padronizadas que pode ser visualizado por meio da tabela 1, a seta em vermelho na imagem (b) a espessura mínima para realizar a troca do disco.

**Figura 1 –** Imagens do disco novo.

|  |  |
| --- | --- |
| IMG126.jpg |  |
| (a) | (b) |

**Fonte:** próprio autor (2019).

A figura 2 a seguir mostra as imagens dos respectivos discos já seccionados, foram obtidas três amostras, dentro das três amostras foram obtidas outras amostras para as análises como já comentado, foram analisados a superfície da pista a seção transversal.

**Figura 2 –** Discos de freios de ferro fundido cinzento

|  |  |
| --- | --- |
| IMG01578.jpg | IMG01556.jpg |
| Zero quilômetro | 80000 quilômetros |
| IMG-20170607-WA0038 | |
| Disco usado | |

**Fonte** do próprio autor

**3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Por meio da tabela 1 pode ser visualizado as medidas geométricas do disco novo. Onde “c” representa a altura total somada da pista com o suporte de fixação na roda.

**Tabela 1 -** Medidas feitas no disco novo

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Diâmetro externo | Espessura da pista | Espessura mínima | Altura total | Diâmetro do furo central | Quantidade de furos |
| A | B | TH(min) | C | D | E |
| 257,00 | 11,00 | 10,00 | 40,50 | 59,00 | 4 |

**Fonte:** Autoria própria (2019)

Os valores encontrados em milímetros da pista no disco de freio usado estão dispostos na tabela 2, são medidas feitas nas posições especificadas no item materiais e métodos.

**Tabela 1 –** Valores encontrados na pista do disco para análise estatística.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Valores agrupados em forma contínua (mm) | | | | | | | |
| 10,18 | 10,269 | 10,302 | 10,184 | 10,171 | 10,126 | 10,119 | 10,122 |
| 10,13 | 10,077 | 10,064 | 10,063 | 10,24 | 10,049 | 10,004 | 10,003 |
| 10,377 | 10,037 | 10,034 | 10,043 |  | | | |

**Fonte:** Autoria própria (2019)

A média alcançada foi de 10,127 mm de espessura, desvio padrão de 0,108, pode ser notar a diferença das medidas do disco para um novo quase próximo da espessura mínima exigida. Os valores encontrados para as durezas das quatro amostras seguem abaixo (valores encontrados em dureza Brinell):

**Tabela 1:** Resultados amostras do disco de freio de 80000 km rodados.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Amostra 1 | Amostra 2 | Amostra 3 | Amostra 4 |
| Média | 256,666667 | 245,3333333 | 243,1666667 | 256 |
| Dureza Brinell | 255 | 229 | 229 | 234 |
| 255 | 244 | 244 | 272 |
| 260 | 260 | 244 | 260 |
| 255 | 255 | 244 | 244 |
| 249 | 255 | 249 | 260 |
| 266 | 229 | 249 | 266 |
| Desvio padrão | 11,94 | | Média total | 250,292 |

**Fonte:** Autoria própria (2019)

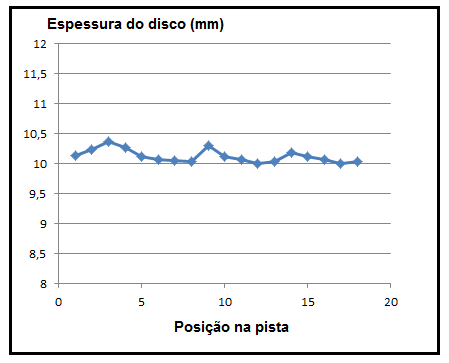
Pode se observar que as medidas de dureza das regiões por meio das análises estatísticas variaram, o desvio mostrado foi de certa forma moderado, pois se trata de valores em Brinell, ou seja, são valores de três algarismos, a média geral foi de 250,3 Brinell, pela nomenclatura de classificação, ou seja, F250, o qual significa dureza em torno de 250 Brinell pode ser concluir que sua dureza se manteve na faixa.

Porém, pela variância não poderia considerar que o material se apresentou-se homogêneo na pista de trabalho. A amostra 01 e 04 ficaram na média superiores a média do centro do disco. Este fato pode ser explicado pela área de contato da pastilha, talvez não alinhada paralelamente com o disco, ou ainda a região do disco não estaria paralela.

Seguindo a linha de raciocínio de que a dureza pode estar relacionada ao conjunto pista e pastilha de freio, o gráfico da figura 3 e a tabela 1 pode auxiliar nesta discussão. Pode se observar que algumas regiões estavam mais desgastadas e outras nem tanto, o desvio apresentado de 0,108 parece pequeno porém por se tratar de uma superfície usinada na sua origem a diferença poderia ser bem menor, isso demonstrar que não havia mais um contato perfeito entres os componentes, isso pode levar a concentrações de tensões diferentes na pista, logo alterar as durezas finais. As amostras 1 e 4 são as regiões extremas da pista que ficaram com espessuras menores, logo poderia se ter mais contato com a pastilha, onde pode ter alterado sua dureza.

Ainda para efeito de comparação foram analisadas também as medidas de dureza do disco novo e o disco usado em “Rockwell C”, onde a média de 287 HC para o disco novo e 348,2 HC para o disco usado, um aumento em torno de 18% na dureza. A rugosidade média medida mostrou uma diferença mais significativa, 2,155 micrometro para o disco novo e 0,64 micrometro para a pista do disco usado. Quanto aos resultados da rugosidade média quanto mais usado os discos mais lisa a superfície da pista vais se tornando, pois pela definição de atrito que o define como microsoldas instantâneas alisando de certo modo a superfície do metal. Esta superfície “lisa” pode alterar o aspecto morfológico das grafitas envolvidas pois quanto mais “lisa” a superfície menor a frenagem consequentemente maior a energia liberada na hora do esforço necessário para frenagem, diminuindo a capacidade de liberar calor das grafitas e aumentando a capacidade de lubrificação das próprias.

**Figura 3 –** Gráfico das medidas de espessura da pista do disco de freio usado.



**Fonte:** próprio autor (2019).

Como descrito na metodologia foi proposto uma análise metalográfica por meio da microscopia eletrônica de varredura, foram obtidas imagens do corpo de prova do disco novo e usado, por meio desta análise foi feito o comparativo perante os tipos e formas das grafitas.

**Figura 4 –** Micrografias do corpo de prova da região central dos discos novo e usado.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) Disco novo | (b) novo, nital 2% |
|  |  |
| (c) | (d) |

**Fonte:** próprio autor (2019).

Com relação ao disco novo as grafitas se apresentaram como classe I, pois se tratam de veios de grafita do ferro fundido cinzento e tipo A que tem características irregulares e desorientadas. O disco de 80000 rodados apresentou como também classe I, porém uma mistura da classe A e C também desigual irregular com veios grosseiros. Foram analisadas as fases também no disco novo em que se observou perlitas finas e frações de perlita grossa, imagem (b) da figura 4, já no disco usado a presença de perlita grossa foi mais intensa.

**5 CONCLUSÃO**

O objetivo do trabalho foi verificar a perda do disco do automóvel que estava em uso, foi obrigatório a troca pelo técnico responsável, por ainda ter um pista ainda segundo a norma, ou seja, poderia ainda continuar sua operação, só que houvera a formação de um “dente” no disco, acabou que sendo um objeto do trabalho. Pode neste trabalho concluir que não houve um paralelismo ideal entre o disco e a pastilha do sistema. Conclui-se também que por meio das análise de dureza e rugosidade média que com o aumento da aplicação das pressões concentradas em regiões mais específicas elevou-se a dureza local e diminuição da rugosidade do disco usado fragilizando algumas partes da pista.

Com relação a morfologia das grafitas houve mudança nas disposições delas e da sua geometria, a grafita possui papel importante no sistema de freios, ela ajuda no processo de lubrificação a na dissipação do calor na forma de aletas, com a mudança da morfologia afeta a transferência de calor que pode também fazer um tratamento térmico local, onde pode observar o aumento da concentração da perlita grossa.

Com todos esses processos pode culminar na situação de aumento da fragilidade da pista dando a perda de material e sucateando o componente. Este trabalho vem sendo executado com várias frentes, onde estão sendo elaborados os estudos das grafita de vários discos de freios de várias marcas, as variáveis são muitas pois, no futuro serão relacionados condições de condução, clima e região e pastilhas, com a adição de outros discos e históricos poderão com o auxílio do coeficiente de correlação estatístico poderá afirmar algumas propostas colocada neste trabalho e trabalhos já realizados.

**6. REFERÊNCIAS**

GUESSER, Wilson Luiz et al. *Ferros Fundidos Empregados para Discos e Tambores de Freio*. In: BRAKE COLLOQUIUM, 1., Gramado. Papers. Gramado: Sae Brazil, 2003. v. 1, p. 1 - 5.

LIMPERT, R. Brake *Design and Safety. Warrendale*: Ed. SAE International, 1999.

ORTHWEIN, W. C. Clutches and brakes, *Design and selection*. Nova York. Marcel Dekker, 2004.

SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G., *Projeto de engenharia mecânica,* Porto Alegre: Bookman, 2005. 960 p.

VDG P441 Merkblatt, Düsseldorf, August 1962.

BREZOLIN, A., *Estudo de Geração de Trincas Térmicas em Disco de Freio de Veículos comerciais*, CAXIAS DO SUL, 2007.

SERBINO, E. M., *Um Estudo dos Mecanismos de Desgaste em Disco de Freio Automotivo Ventilado de Ferro Fundido Cinzento Perlítico com Grafita Lamelar*., São Paulo, 2005.