

Influência da Carga de Frenagem na Resistência ao Desgaste de Ferros Fundidos Usados em Discos de Freio

G. Cueva

A.P.Tschiptschin

Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais

A. Sinatora

Departamento de Engenharia Mecânica Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo - São Paulo, Brasil

W. L. Guesser

Industria de Fundição Tupy

Universidade do Estado de Santa Catarina - Brasil

RESUMO

Foi estudada a resistência ao desgaste de três ferros fundidos cinzentos da classe 250 utilizados, normalmente, em discos de freio e de um ferro fundido vermicular utilizado na fabricação de blocos de motores, visando o uso deste material em discos de freio de veículos de grande porte.

Os ensaios de desgaste foram realizados numa máquina de desgaste pino sobre disco, sendo os pinos fabricados de pastilhas de freio de automóveis e os discos dos ferros fundidos estudados. Foram utilizadas pressões cíclicas de 0,7, 2 e 4 MPa e velocidade de rotação dos discos de 500. O desgaste foi analisado através da medida da perda de massa dos discos. Foram determinadas, também, as temperaturas alcançadas pelos pinos durante os ciclos de frenagem e as forças de atrito.

Os resultados mostram que os discos de ferro fundido vermicular foram os que alcançaram as maiores temperaturas e forças de atrito, assim como também, as maiores perdas de massa, independentemente da carga aplicada. Entretanto, quando este material foi ensaiado com cargas de frenagem que gerassem forças de atrito semelhantes às obtidas com os ferros fundidos cinzentos verificou-se que o desgaste dele se iguala ao observado nos ferros fundidos cinzentos, ensaiados com maiores cargas de frenagem.

INTRODUÇÃO

Sabe-se que ferros fundidos cinzentos possuem boa resistência a variações térmicas e, freqüentemente, são utilizados em peças sujeitas a grandes mudanças de temperatura, tais como tambores e discos de freio.⁽¹⁻⁴⁾

Um outro tipo de ferro fundido que vem encontrando utilização crescente em aplicações onde condições de resistência mecânica, fadiga térmica e altas temperaturas estão presentes é o ferro fundido com grafita vermicular. Este material apresenta a grafita em forma de vermes (morfologia intermediária entre lamelar e nodular) que confere propriedades mecânicas e térmicas intermediárias entre o ferro fundido cinzento e o ferro fundido nodular. O ferro fundido vermicular tem resistência à tração pelo menos 75% maior e tenacidade

35% mais elevada que a do ferro cinzento.⁽⁵⁻⁶⁾

Por outro lado, os ferros fundidos cinzentos possuem excelentes propriedades de condutividade térmica devido ao fato de as lamelas de grafita - excelentes condutores de calor - se encontrar interconectadas, facilitando assim a rápida dissipação de calor. Nos ferros fundidos nodulares as partículas de grafita encontram-se isoladas umas das outras, por isso, a contribuição desta fase para a condutividade térmica é muito pequena. No ferro fundido vermicular a grafita apresenta um certo grau de conectividade e um fator de forma intermediário entre as duas anteriores proporcionando também, propriedades mecânicas e térmicas intermediárias.⁽⁵⁻⁶⁾

Com relação à resistência ao desgaste, trabalhos prévios realizados pelos autores, utilizando uma máquina de ensaios tipo pino sobre disco e cargas de 600, 300 e 100 N mostraram que, em geral, a resistência ao desgaste do ferro fundido vermicular é inferior a três tipos de ferro fundido cinzento comumente usados em discos de freio; exceto quando a carga foi de 300 N, onde foi observado que o desgaste foi igual para todos os materiais.⁽⁷⁻¹¹⁾

Os autores observaram também, que os discos de ferro fundido vermicular alcançaram as maiores temperaturas (45% maiores que as temperaturas alcançadas pelos ferros fundidos cinzentos) e as maiores forças de atrito, como é mostrado na Tabela 1.

Estas evidências sugerem que, em princípio, o ferro fundido vermicular não seria o material mais adequado para ser utilizado em componentes como discos de freio. Entretanto, devido ao fato de que as forças de atrito medidas durante os ensaios de desgaste utilizando ferro fundido vermicular, foram superiores àquelas obtidas com os ferros fundidos cinzentos, pensou-se que se utilizando o ferro fundido vermicular e aplicação de cargas menores que 600 e 100 N, poderiam ser obtidos resultados semelhantes, com forças de atrito iguais às desenvolvidas nos ensaios de ferros cinzentos com as cargas mencionadas, especialmente no que diz respeito à perda de massa e a temperatura.

Por este motivo, o presente trabalho se propôs estudar o comportamento em desgaste do ferro fundido vermicular quando ensaiado com cargas de frenagem inferiores que

possibilitem a obtenção de forças de atrito semelhantes às obtidas com os ferros fundidos cinzentos.

Tabela 1. Força de atrito e temperatura em função da carga e do tipo de ferro fundido.⁽⁸⁻¹¹⁾

		Cinzento			Vermic
		Fe250	FeAC	FeTi	
600 N	Atrito [N]	315 ± 10	325 ± 10	340 ± 10	360 ± 10
	Temp. [°C]	200 ± 10	210 ± 10	210 ± 10	240 ± 10
300 N	Atrito [N]	110 ± 10	110 ± 10	110 ± 10	165 ± 10
	Temp. [°C]	90 ± 5	85 ± 5	95 ± 5	115 ± 5
100 N	Atrito [N]	35 ± 10	35 ± 10	35 ± 10	55 ± 5
	Temp. [°C]	60 ± 5	55 ± 5	60 ± 5	70 ± 5

METODOLOGIA

Foram estudados um ferro fundido com grafita vermicular (Vermic) e três ferros fundidos cinzentos da classe 250 (denominados: Fe250, FeAC e FeTi) cujas composições químicas e propriedades mecânicas básicas são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química (% em peso) e propriedades mecânicas dos ferros fundidos

	Cinzento			Vermic
	Fe250	FeAC	FeTi	
C	3,54	3,73	3,49	3,63
Si	2,15	2,07	2,27	2,06
Mn	0,51	0,78	0,53	0,51
P	0,054	0,058	0,052	0,04
S	0,1	0,085	0,09	0,015
Ti	0,012	0,014	0,028	0,01
Cu	0,69	0,56	0,71	0,47
C. E.	4,27	4,44	4,26	4,33
Dureza (HB)	195 ± 5	180 ± 5	195 ± 5	220 ± 5
L.R. (MPa)	255	240	255	460

Os ensaios de desgaste foram feitos numa máquina de ensaios de desgaste tipo pino sobre disco, acoplado a um computador, Marca Plint, com sistema pneumático de aplicação de carga e capacidade máxima de 1000 N. Na Figura 1 são mostrados esquematicamente a máquina e seus acessórios. Os pinos foram fabricados a partir de pastilhas de freio que equipam os caminhões Sprinter da Mercedes Benz, com base quadrada (Área = 144 mm²) e acabamento superficial em lixa 400. Os discos de ferro fundido foram fabricados com 70 mm de diâmetro, 7 mm de espessura e acabamento superficial de 1µm. Foi utilizada uma velocidade de rotação dos discos de 500 rpm.

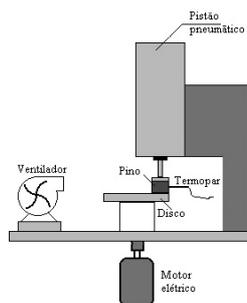


Figura 1. Esquema da máquina de ensaios pino no disco.

Os ensaios de desgaste foram realizados utilizando cargas cíclicas de 500 e 60 N. O ciclo total de frenagem foi de 4 min sendo que durante 1 min foi aplicada a pressão de frenagem e nos 3 min restantes o disco girou descarregado. Durante os ciclos de frenagem o sistema pino - disco foi resfriado por convecção forçada através de um ventilador. O tempo total de ensaio foi de 21 horas, completando-se nesse intervalo 300 ciclos de frenagem (carregamento - descarregamento). O ensaio foi interrompido depois de 7, 14 e 20 horas para serem realizadas medidas de perda de massa dos discos. Durante os ciclos de frenagem foram determinados também, as temperaturas alcançadas pelos pinos e os discos através de termopares inseridos nos pinos, e registradas as forças de atrito.

O desgaste dos discos foi calculado através da perda de massa acumulada durante os ciclos de frenagem. Pelo menos três discos de cada material foram ensaiados para verificar a reprodutibilidade dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os resultados apresentados na Tabela 1, pode-se verificar que com as cargas de 600 e 100 N, os ferros fundidos cinzentos apresentam forças de atrito (325 e 39 N, respectivamente) e temperaturas (210 e 60 °C, respectivamente) muito semelhantes entre si.

Para se obter, com o ferro fundido vermicular valores de força de atrito e temperatura próximos aos obtidos com os ferros fundidos cinzentos, foram realizados ensaios de desgaste utilizando cargas de frenagem de 500 e 60 N, respectivamente; como mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Força de atrito e temperatura registrados nos ensaios com os ferros fundidos cinzentos e vermiculares em função da carga de frenagem.

	600 N Cinzento	500 N Vermic	100 N Cinzento	60 N Vermic
Atrito [N]	325 ± 10	320 ± 20	39 ± 5	35 ± 5
Temp. [°C]	210 ± 10	195 ± 10	60 ± 5	60 ± 5

Sob estas novas condições de frenagem constatou-se que o ferro fundido vermicular apresenta resistência ao desgaste semelhante ao dos ferros fundidos cinzentos, como é mostrado na figura 2.

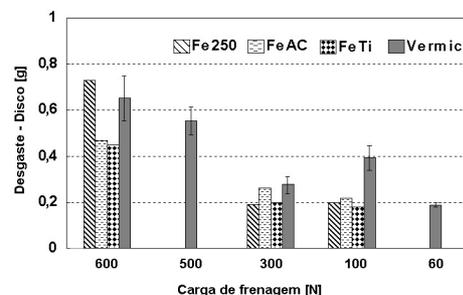


Figura 2. Desgaste do ferro fundido vermicular em função da carga de frenagem aplicada. Os dados referentes às cargas de 600, 300 e 100 N encontram-se nas referências (8-11).

Considerando os resultados apresentados na Tabela 3 e na Figura 2 parece evidente que os ferros fundidos cinzentos apresentam um desempenho muito semelhante sob qualquer condição de ensaio realizado. Este comportamento não é difícil de entender, pois os três ferros fundidos cinzentos estudados, são microestruturalmente muito parecidos, possuindo matrizes quase 100% perlíticas e formas e tamanhos de grafita semelhantes⁸⁻¹¹. Além disso, as propriedades mecânicas também são quase iguais (Tabela 2).

Constata-se também que, o comportamento do ferro fundido vermicular foi diferente daquele observado nos ferros fundidos cinzentos, pois em geral, é notado que a resistência ao desgaste deste material é inferior a dos outros materiais utilizados.

Esta diferença chama a atenção devido ao fato de que o ferro fundido vermicular possui melhores propriedades mecânicas que qualquer um dos ferros fundidos cinzentos utilizados neste trabalho, portanto era esperado que fosse este material quem apresentasse a melhor resistência ao desgaste, fato que não aconteceu.

Uma das razões para este comportamento está relacionado com a quantidade de ferrita presente neste ferro fundido (aproximadamente 15% em vol.). A ferrita seria a responsável pelas maiores perdas de massa medidas neste material devido ao fato de ter uma dureza inferior à da perlita e uma baixa resistência ao desgaste em situações onde mecanismos de desgaste do tipo adesivo, abrasivo e de fadiga estão atuando.⁸⁻¹¹

Outro dos motivos pelos quais o ferro fundido vermicular sofreu maior desgaste foi o fato de desenvolver maiores forças de atrito que aquelas alcançadas pelos ferros fundidos cinzentos, o que o levou também a atingir temperaturas de frenagem muito mais altas.

Portanto, a somatória de todas estas variáveis negativas como teor de ferrita, altas forças de atrito e temperaturas, influenciando no desempenho do vermicular, provocaram que se desgastasse muito mais. Estas evidências sugerem que este material não seria o mais adequado para ser utilizado em componentes como discos de freio.

Entretanto, analisando os resultados apresentados na figura 2, nota-se que o ferro fundido vermicular não é tão ruim como poderia parecer. Pois, quando os resultados são analisados em função da força de atrito desenvolvida, observa-se que a resistência ao desgaste do ferro fundido vermicular praticamente se iguala a dos ferros fundidos cinzentos, especialmente quando as forças de atrito são muito altas e/ou muito baixas. Com a vantagem de que, para que o ferro fundido vermicular atingisse esses valores de força de atrito, seriam necessárias menores cargas de frenagem.

CONCLUSÕES

* Com iguais cargas de frenagem aplicadas, o desgaste dos discos de ferro fundido vermicular é superior a dos discos de ferro fundido cinzento.

* Em condições iguais de força de atrito, o desgaste e as temperaturas alcançadas pelo ferro fundido vermicular são iguais as dos ferros fundidos cinzentos.

* O ferro fundido vermicular poderia ser utilizado em

discos de freio, apresentando qualidades de frenagem iguais ou até superiores das que poderiam ser obtidas utilizando ferros fundidos cinzentos, sendo necessárias inclusive, menores cargas de frenagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a COBREQ pela doação das pastilhas de freio, a Indústria de Fundição Tupy Ltda. pela doação dos ferros fundidos estudados, a FAPESP processo nº 99/11603-9 e a CAPES pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. Jimbo, Y. et al., Development of high thermal conductivity cast iron for brake disk rotors. SAE Technical Paper Series. In: International Congress and Exposition. Detroit - Michigan. (1990)
2. Rhee S. K. & Ducharme R. T., The friction surface of gray cast iron brake rotors. *Wear*, (1973), v.23, p. 271 - 273.
3. Sugishita, J. & Fujiyoshi, S., The effect of cast iron graphite on friction and wear performance. I: Graphite film formation on grey cast iron surfaces. *Wear*, (1981), v.66, p. 209 - 221.
4. Zhang, Y., Chen, Y. & Shen, B., Investigation of tribological properties of brake shoe materials phosphorous cast iron with different graphite morphologies. *Wear*, (1983), v.166, p. 179 - 186.
5. Pye, A. M., Technical Report. Applications of Some of the News Cast Irons. *Materials & Design*, (1992), v3, p. 534 - 537
6. Stefanescu D. M., Compacted Graphite Iron. *Metals Handbook. Properties and Selection Irons, Steels and High-Performance Alloys*, (1992), v1, p.65
7. Cueva, et all., Desgaste de ferros fundidos usados em discos de freio de veículos automotores. SAE Technical Paper Series. In: 8º Congresso e Exposição Internacionais de Tecnologia da Mobilidade. São Paulo - Brasil. (2000).
8. Cueva, et all., Desgaste em discos de freio de veículos automotores. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. COBEM 2001. Uberlândia, MG - Brasil. (2001).
9. Cueva, et all., Desgaste em discos de freio de veículos automotores. SAE Technical Paper Series. In: 9º Congresso e Exposição Internacionais de Tecnologia da Mobilidade. São Paulo - Brasil. (2001).
10. Cueva, et all., Desgaste em ferros fundidos para discos de freio. In: III CECEM 2001. Campina Grande. Pb - Brasil. (2001).
11. Cueva, et all., Influência da carga de frenagem nos mecanismos de desgaste de pastilhas de freio de veículos automotores. In: XV CBECIMAT 2002. Natal, RN - Brasil. (2002).