

# USINABILIDADE DE FERRO FUNDIDO CINZENTO LIGADO UTILIZADO NA FABRICAÇÃO DE DISCOS DE FREIOS AUTOMOTIVOS

## **Paulo Roberto Meurer**

Tupy Fundições Ltda. Fundação B – Peças Automotivas, Rua Albano Schmidt 3400, Joinville, SC.  
POSMEC – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC.

[prmeurer@tupy.com.br](mailto:prmeurer@tupy.com.br)

## **Lourival Boehs**

GRUCON - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário – Trindade, Florianópolis/SC, Brasil, Caixa Postal 476 – EMC – 88010-970.

[lb@grucon.ufsc.br](mailto:lb@grucon.ufsc.br), [boehs@emc.ufsc.br](mailto:boehs@emc.ufsc.br)

## **Wilson Luiz Guesser**

Tupy Fundições Ltda. Engenharia Metalúrgica, R. Albano Schmidt, 3400, 89206-900, Joinville/SC.  
Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Joinville/SC. [wguesser@tupy.com.br](mailto:wguesser@tupy.com.br)

***Resumo.** A adição dos elementos de liga em discos de freio ventilados (aletados) aumenta a resistência ao desgaste e a resistência mecânica, resultando em um ferro fundido cinzento perlítico com maior qualidade. Entretanto, independente da liga utilizada a remoção da camada bruta representa um grande desgaste da ferramenta na usinagem. Os dois tipos de ferro fundido cinzento perlítico utilizados na pesquisa, o FC 250 sem adições e o FC 250 ligado com Ti, foram produzidos em condições de fabricação comercial, a fim de representar a linha de produção deste segmento de produto. Os efeitos da remoção da camada bruta de fundição foram estudados em ensaios de torneamento, no processo de faceamento em desbaste, com velocidade de corte de 800 m/min com ferramenta cerâmica ( $Al_2O_3-TiCN$ ) e sem fluido de corte. O estudo compara a influência do desbaste da camada bruta de fundição em relação ao desbaste após a remoção desta camada, onde é possível constatar a sensível perda de rendimento das ferramentas na remoção da camada bruta de fundição.*

***Palavras-chave:** cinzento perlítico, usinabilidade, disco de freio ventilado, cerâmica.*

## **1. INTRODUÇÃO**

O atual cenário da indústria automobilística brasileira encontra-se numa situação onde as empresas do setor de autopeças enfrentam a concorrência global, e ainda devem manter os custos e a qualidade das peças. Nesse mercado, onde além do próprio cliente ditar o preço do produto, a qualidade deve ser garantida através da certificação de normas específicas, como a QS e a ISO-TS.

Nesse cenário competitivo a indústria automobilística está ampliando a utilização do disco de freio ventilado (aletado), em função do aumento da segurança e redução do custo de manutenção do sistema, devido à redução da fadiga do sistema de freio. O uso intenso do disco não aletado proporciona um superaquecimento, decorrente da menor capacidade de refrigeração.

A tendência mundial é produzir peças cada vez mais sofisticadas, com elevado grau de tolerância geométrica, dimensional e acabamento superficial, com baixo custo e sem poluir o meio ambiente. A crescente conscientização em torno da defesa do meio ambiente traz uma forte

cobrança às indústrias, que se vêm obrigadas a utilizar adequadamente os recursos naturais consumidos em seus processos de manufatura (1).

A usinagem com ferramenta cerâmica é extensivamente realizada a seco, em ferro fundido e aços ferrítico-perlíticos. O ferro fundido cinzento foi o primeiro a ser usinado a seco em operações de torneamento, mas hoje em dia também se pode usinar a seco materiais mais duros.

O emprego de ferramentas cerâmica na usinagem de discos de freio, cubos de rodas, blocos de motores e camisa do cilindro tem apresentado boa eficiência nas indústrias. Teste de torneamento do ferro fundido cinzento utilizando insertos cerâmicos tem apresentado bons resultados de vida útil de ferramenta com velocidade de corte entre 400 a 800 m/min. Esses valores de velocidade de corte estão entre duas e quatro vezes maiores do que insertos de metal duro (2).

Independente da composição química, microestrutura e elementos de liga, todas as ligas fundidas em areia a verde possuem uma superfície bruta de fundição. Esta camada se não processada adequadamente na fundição pode causar grandes perdas na usinagem do fundido. Normalmente os problemas encontrados na camada superficial originam-se da interação do metal líquido com o molde de areia, resultando partículas de sílica aderidas à peça. Outra danificação da superfície pode ocorrer em tratamentos térmicos, formando-se óxidos de ferro superficiais (3).

No chão-de-fábrica, a remoção da camada bruta de fundição é uma realidade, ou seja, um problema enfrentado pelas empresas que trabalham com usinagem e fabricantes de ferramentas. Na dinâmica que as fábricas se encontram, não permite que estas façam estudos padronizados e detalhados para entender as dificuldades na remoção desta camada.

Para este objetivo é que se direcionou esta pesquisa, buscando melhorar os conhecimentos e domínio na usinagem da camada bruta de fundição de disco de freio em ferro fundido cinzento, com duas ligas distintas.

## **2. FUDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Durante a interação das pastilhas com os discos há conversão de energia cinética em energia térmica ou calor. A quantidade de calor produzida depende do peso do veículo e da velocidade no momento em que os freios são aplicados. Um veículo pesando 1.500 kg converterá aproximadamente 0,5 kW-h de energia cinética em calor se for freado de 145 km/h até a parada total. Essa grande quantidade de calor faz com que o disco possa atingir por curtos períodos, temperaturas de até 800°C. Isso provoca um gradiente térmico entre a superfície do disco e seu núcleo, que às vezes excede 500 °C (4). O aumento da utilização dos discos de freio aletado é justificado em função da melhor dissipação desta quantidade de calor gerada na frenagem.

Os discos aletados devem ser capazes de resistir à fadiga térmica, e a grande quantidade de calor gerado durante a frenagem. O material deve ter também boa resistência mecânica, ser barato, fácil de fundir e usinar. O ferro fundido cinzento perlítico atende estas características, todavia, a adição de alguns elementos de liga tende a dificultar a usinabilidade.

Além da influência do silício na usinabilidade, outros elementos de liga também influem nesta propriedade do ferro fundido. A influência destes elementos pode ser dividida em dois tipos: os formadores de carbonetos (cromo, titânio, molibdênio) que prejudicam a usinabilidade devido ao fato de que carbonetos são partículas muito duras e abrasivas e os grafitizantes (silício, níquel, alumínio e cobre) que auxiliam a usinabilidade (5).

Adições de Ti em peças de ferro fundido cinzento têm os objetivos de promover o aumento da resistência ao desgaste e também a melhoria das propriedades antifricção. Deste modo o Ti tem sido usado como elemento de liga em blocos de motores produzidos em ferro fundido cinzento, bem como em discos de freio (6). Na Figura 1 é possível verificar a presença de carbonitretos de titânio na microestrutura.

As inclusões com alta dureza, em relação à matriz perlítica, não são deformadas plasticamente, mesmo quando as condições de temperatura e pressão desenvolvidas na interface cavaco-ferramenta são suficientemente altas para promover alterações microestruturais no material da peça. Assim, pode-se concluir que as inclusões de Ti(C,N) são potencialmente prejudiciais à usinabilidade devido ao seu efeito abrasivo (7).

Entre as inclusões favoráveis a usinabilidade encontra-se o sulfeto de manganês. Em condições favoráveis, estas inclusões formam sobre as superfícies da ferramenta de corte uma película protetora também conhecida como *built-up layer* (BUL), responsável pela redução do desgaste da ferramenta e pela redução na força de corte, apud (8).

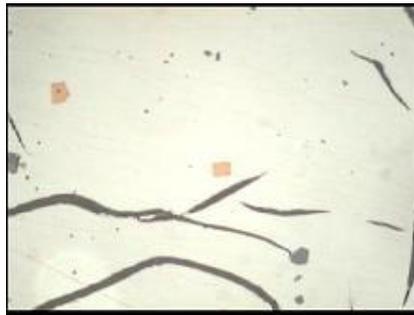


Figura 1 - Microestrutura de disco de freio em ferro fundido cinzento microligado com Ti (300 ppm) (9).

Em relação ao ferro fundido FC 250 com 0,12% de enxofre (tomado como referência devido ao seu uso na produção do ferro fundido cinzento e semelhante ao material do ensaio), o ferro fundido cinzento com 0,065% de enxofre apresentou em ensaios de usinagem uma redução na vida da ferramenta de metal duro de 24% , 32% e 38%, para as velocidades de 100, 150, e 200 m/min o percentual do material ensaiado, respectivamente. Assim, o efeito dos sulfetos de manganês foi maior, apesar de menos expressivo, na usinagem do ferro fundido cinzento FC 250 em altas velocidades de corte (9).

Os ferros fundidos com grafita (cinzento, nodular, vermicular) são considerados materiais de boa usinabilidade, porém apresentam diferenças entre si. Os melhores resultados de usinabilidade são obtidos com os ferros fundidos cinzentos. Estes materiais apresentam grafita (cerca de 10% em volume) em forma de veios, o que facilita a ruptura do cavaco. Verifica-se inclusive a formação de trincas à frente do cavaco, na região afetada pela usinagem (*Machining Affected Zone*), cuja distância depende do tipo de grafita e da matriz (Figura 2). De um modo geral, a usinabilidade decresce à medida que se caminha para classes de maior resistência, devido ao aumento da quantidade de perlita na matriz. Nos ferros fundidos cinzentos com matriz perlítica, as melhores condições de ruptura do cavaco são verificadas com grafita tipo A e matriz de perlita grosseira, que correspondem a boas condições para propagação de trincas à frente da região de geração do cavaco. Outra característica importante é a presença de sulfeto de manganês (cerca de 0,5% em volume), partícula que atua como lubrificante na interface ferramenta/cavaco, e que está presente nos ferros fundidos cinzentos.

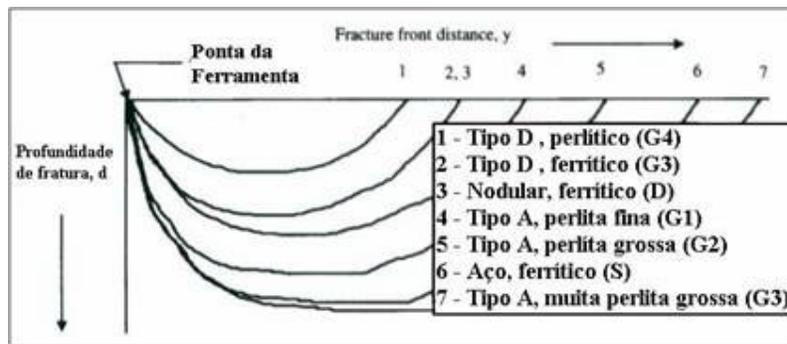


Figura 2 – Fratura na zona afetada pela usinagem, para diversos ferros fundidos (10).

Para que as perdas na usinagem sejam menores alguns cuidados são tomados na fundição, tais como; tempo de desmoldagem do fundido, limpeza para remover as inclusões de areia, inoculação para evitar formação de carbonetos (partículas duras) e retirada de rebarbas na união de moldes.

A aderência de areia pode usualmente ser removida por uma efetiva limpeza após a fundição, mas se a areia estiver presente como resultado de penetração no ferro é extremamente difícil de remover, e se permanecer no material causará perdas de usinabilidade e especialmente desgaste de ferramenta.

Na literatura há evidências de inúmeros ensaios com o ferro fundido cinzento em diversas aplicações de usinagem, normalmente utilizando corpo de prova cilíndrico. Neste trabalho, foi utilizado como corpo de prova um disco de freio ventilado (aletado) de 273 mm de diâmetro, produzidos em condições de fabricação comercial e avaliado o desgaste do inserto cerâmico no desbaste da camada bruta de fundição e o desbaste após a remoção desta camada, ambos a seco e com inserto cerâmico.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram estudados dois ferros fundidos cinzentos: um da classe FC 250 sem Ti, e um outro FC 250, ligado com Ti (FC 250 Ti); a micrografia das ligas é apresentada nas Figuras 3 e 4 com aumentos de 200 e 1000 vezes, respectivamente.

Com o auxílio do microscópio óptico modelo Optiphot, marca Nikon, foi caracterizado o tamanho da grafita, o número de células eutéticas e a quantidade de partículas de carbonitreto de titânio, conforme a Tabela 1. Os valores das quantidades contidas na análise representam a média de várias regiões da amostra do material e cujas composições químicas e propriedades mecânicas básicas são mostradas na Tabela 2.



Figura 3: Micrografia do ferro fundido cinzento perlítico com ataque de Nital 2% a 200x.  
(a) FC 250 Ti, (b) FC 250



Figura 4: Micrografia do ferro fundido cinzento perlítico com ataque de Nital 2% a 1000x.  
(a) FC 250 Ti, (b) FC 250

Para ambas as ligas os discos de freio apresentaram matriz quase 100% perlítica com grafita lamelar, com forma I tipo A, de tamanhos 4 e 5.

Tabela 1: Tamanho da grafita, número de células eutéticas e número de partículas de carbonitreto de titânio das ligas dos discos aletados.

LIGA	Tamanho da Grafita (%)				Número de células eutéticas (N/cm <sup>2</sup> )	Número de Partículas de carbonitreto de Titânio (N/mm <sup>2</sup> )
	ASTM 8 < 0,015mm	ASTM 7 0,015 a 0,03 mm	ASTM 6 0,03 a 0,06 mm	ASTM 5 0,06 a 0,12 mm		
FC 250 Ti	17,45	32,14	30,06	17,15	413	47
FC 250	18,08	36,46	29,38	13,43	423	17

Tabela 2 - Composição Química (% em peso) e propriedades mecânicas dos ferros fundidos

Elementos	FC 250	FC 250 Ti
<b>C</b>	3,52	3,50
<b>Si</b>	2,24	1,95
<b>C.E</b>	4,28	4,17
<b>Mn</b>	0,57	0,50
<b>S</b>	0,11	0,11
<b>Ti</b>	0,009	0,026
<b>Cueq</b>	1,02	1,46
<b>Dureza (HB)</b>	230 ± 2,7	225 ± 4,0
<b>Microdureza Vickers (HV) *</b>	314 ± 15	330 ± 19
<b>Limite de resistência (MPa)</b>	266	242

Nota: Valores de % em peso referentes às moedas produzidas para análise química.

\* Valores de microdureza a 4 mm de profundidade com HV 01 e carga de 100g.

Os ensaios de usinagem foram feitos num torno horizontal CNC, da marca OKUMA, modelo CROWN L1420, com uma placa de três castanhas. Foi utilizado inserto cerâmico ISO CNGA 120412T com duas camadas de revestimento, uma com  $Al_2O_3$  (óxido de alumínio) e outra com TiCN (carbonitreto de titânio). O inserto foi fixado em um suporte MCLNL 2525M12. Os corpos de prova foram enviados para o ensaio de usinagem sem a proteção de óleo protetivo, com as dimensões brutas de 273 mm de diâmetro e 64 mm de largura de pista de freio (Figuras 5 e 6).



Figura 5 – Disco aletado bruto



Figura 6 – Disco aletado usinado

O estudo da usinabilidade consiste na usinagem das pistas dos discos de freio que entram em contato com as pastilhas e realizado da seguinte maneira: foram utilizadas três ferramentas cerâmicas, a primeira realizou a usinagem longitudinal do diâmetro 273 mm para retirada de imperfeições, assim evitando a quebra prematura da ferramenta no faceamento da pista; a segunda ferramenta realizou o faceamento de desbaste da camada bruta de fundição na pista de freio com  $f_n = 0,20$  mm/rotação,  $a_p = 1$  mm e  $v_c = 800$  m/min e a terceira ferramenta cerâmica realizou o faceamento de desbaste da pista após a remoção da camada bruta, diferenciando da segunda ferramenta somente na profundidade de corte, ou seja  $a_p = 2$  mm. A primeira ferramenta não foi avaliada no ensaio.

O ensaio era interrompido a cada 4 peças usinadas, a fim de realizar as medições de desgaste das ferramentas cerâmicas, usando-se uma lupa de ferramentaria com escala centesimal, marca Peak e um estereoscópio com uma câmera digital acoplada para assegurar a precisão da lupa.

O critério adotado para determinar o fim de vida da ferramenta foi o desgaste de flanco (VB), acompanhado também pela quantidade de peças produzidas.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os 2 tipos de ferros fundidos cinzentos perlíticos utilizados nesta pesquisa apresentaram

microestruturas muito semelhantes entre si, com matriz predominantemente perlítica e lamelas de grafita. São observadas diferenças na composição química, principalmente nos elementos de adição.

A evolução do desgaste do inserto cerâmico no decorrer dos ensaios de usinagem na operação de faceamento em desbaste da camada bruta de fundição é mostrada na Figura 7. Observa-se que para os dois materiais, o desgaste da ferramenta aumenta uniformemente com o aumento do volume de material removido e com o tempo de usinagem. Verifica-se que houve uma pequena diferença nas curvas de desgaste entre as ligas, mas um grande desgaste de ambas as ferramentas, chegando a mais de 1 mm de desgaste de flanco.

Na figura 8, é mostrado o desgaste acumulado do inserto cerâmico no desbaste após a remoção da camada bruta de fundição, verificando-se que há também nesse caso, aumento uniforme de desgaste com o aumento do volume de material removido. Observa-se que existe uma alternância nas curvas de desgaste das ligas FC 250 e FC 250 Ti, quando se comparam as Figura 8.

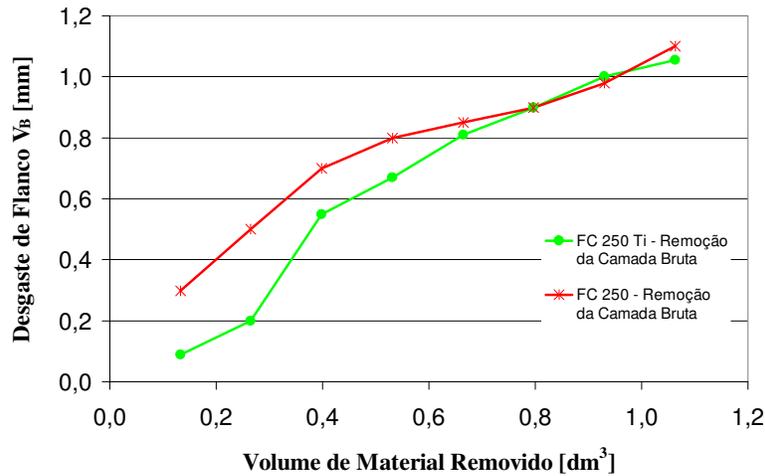


Figura 7: Comportamento do desgaste da ferramenta na usinagem da camada bruta de fundição

A avaliação do comportamento da ferramenta na usinabilidade de um material é sempre realizada sem as imperfeições do material e alterações de estrutura. O material abaixo da camada bruta de fundição tende a ser um material de estrutura homogênea. A Figura 8 apresenta o comportamento do desgaste da ferramenta nesta camada.

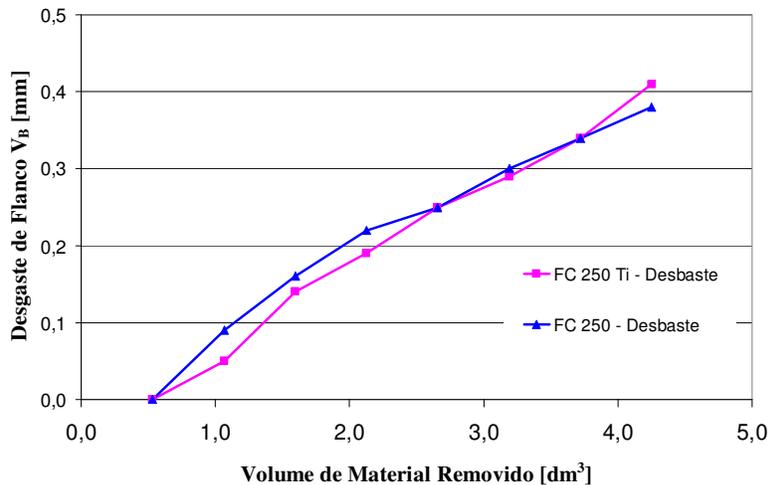


Figura 8: Comportamento do desgaste da ferramenta no desbaste após a remoção da camada bruta de fundição

Nota-se também que as ferramentas utilizadas na remoção da camada bruta de fundição sofreram um desgaste mais severo que as ferramentas utilizadas no desbaste após a remoção desta camada, conforme apresentado na Figura 9. Constata-se também que a ferramenta utilizada na remoção da camada bruta de fundição teve uma perda de rendimento doze vezes menor para um desgaste de flanco de 0,4 mm, isto quando comparada ao desbaste após a remoção da camada bruta.

A razão deste resultado está fortemente relacionada à presença de aderência de areia e a formação de FeO na superfície, que pode reagir com a sílica formando a faialita (71 % de FeO e 29, % de SiO<sub>2</sub>), aumentando assim a quantidade de óxidos na camada bruta de fundição. Além disso, pode ocorrer a descarbonetação na superfície, de modo que essa superfície passa a conter menos grafita, prejudicando assim sua usinabilidade.

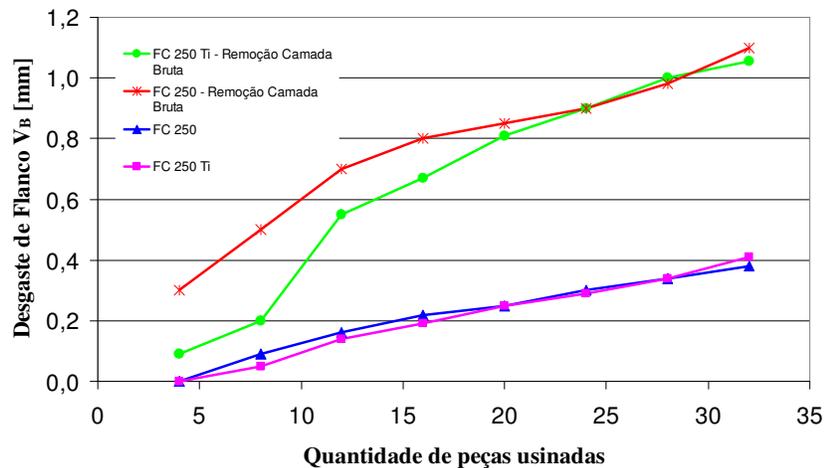


Figura 9: Comportamento comparativo do desgaste da ferramenta no desbaste da camada bruta de fundição e o desbaste após a remoção da camada bruta

Desses gráficos observa-se que, para a remoção da camada bruta de fundição das duas ligas o desgaste de flanco das ferramentas foi bem superior, apesar de esta ser uma operação com uma profundidade de corte de apenas 1 mm. Entretanto, o desbaste após a remoção da camada bruta possuía um  $a_p$  de 2 mm e com o aumento da profundidade empregada no corte, aumenta-se a área de contato cavaco-ferramenta. Este aumento da profundidade promove a elevação das componentes da força de usinagem: corte, avanço e passiva (11), porém, o efeito da camada bruta de fundição exerce um efeito negativo maior a ferramenta.

A verificação do efeito entre a remoção da camada bruta de fundição e o desbaste após essa remoção com oito observações de desgaste de flanco, foi realizada empregando a análise de variância para um nível de significância de 5% (12).

Tabela 3 – Análise de variância para a remoção de camada bruta de fundição e a usinagem de desbaste após a remoção dessa camada bruta do disco - liga FC 250 Ti.

	Soma dos quadrados	Grau de liberdade	Média quadrática	F <sub>0</sub>	F <sub>cr</sub>
Entre grupos (Camada bruta e desbaste- FC 250 Ti)	0,81	1	0,81	10,93	4,60
Erro	1,04	14	0,07		
Total	1,85	15			

Visto que ( $F_0 = 10,93$ ) > ( $F_{cr} = 4,60$ ), Tabela 3, conclui-se que a camada bruta de fundição exerce de fato um efeito negativo significativo no desgaste de flanco da ferramenta cerâmica na usinagem da liga FC 250 Ti e, portanto, na usinabilidade dessa superfície do disco de freio.

Tabela 4 – Análise de variância para a remoção de camada bruta de fundição e a usinagem de desbaste após a remoção dessa camada bruta do disco - liga de FC 250.

	Soma dos quadrados	Grau de liberdade	Média quadrática	F <sub>o</sub>	F <sub>cr</sub>
Entre grupos (Camada bruta e desbaste- FC 250)	1,20	1	1,20	28,49	4,60
Erro	0,59	14	0,04		
Total	1,80	15			

Visto que ( $F_o = 28,49$ ) > ( $F_{cr} = 4,60$ ), Tabela 4, conclui-se que a camada bruta de fundição exerce de fato um efeito negativo significativo no desgaste de flanco da ferramenta cerâmica na usinagem da liga FC 250. Portanto, as duas ligas apresentam diferenças significativas quando se compara a usinagem da camada bruta de fundição e a usinagem do material isento dessa camada. Na prática industrial isto representa uma dificuldade adicional para usinagem, na medida em se torna necessário utilizar uma estratégia específica para atender os quesitos desgaste da ferramenta e qualidade da peça. Isto poderá implicar na utilização de duas ferramentas e maior tempo de troca.

Comparando o FC 250 com o FC 250 Ti, o efeito da adição do titânio não influenciou significativamente no desgaste de flanco da ferramenta cerâmica, apesar desta adição gerar partículas de carbonitreto de titânio na liga.

Nas Figuras 10 e 11, que correspondem a usinagem da camada bruta de fundição e a usinagem após a remoção da superfície, verifica-se que há, comparativamente, um desgaste prematuro do inserto cerâmico na remoção da camada bruta de fundição para a velocidade de corte aplicada de 800 m/min. Outro aspecto que aparece é um pequeno desgaste de cratera para ambas as ferramentas.



Figura 10: Caracterização do desgaste no inserto cerâmico na remoção da camada bruta de fundição do FC 250 Ti



Figura 11: Caracterização do desgaste no inserto cerâmico após a remoção da camada bruta de fundição do FC 250 Ti

As Figuras 12 e 13 indicam que há uma tendência similar no desgaste da ferramenta cerâmica para a liga FC 250. Entretanto, existe uma diferença no desgaste da ferramenta entre as ligas, mas, como mencionado anteriormente, não é significativa.

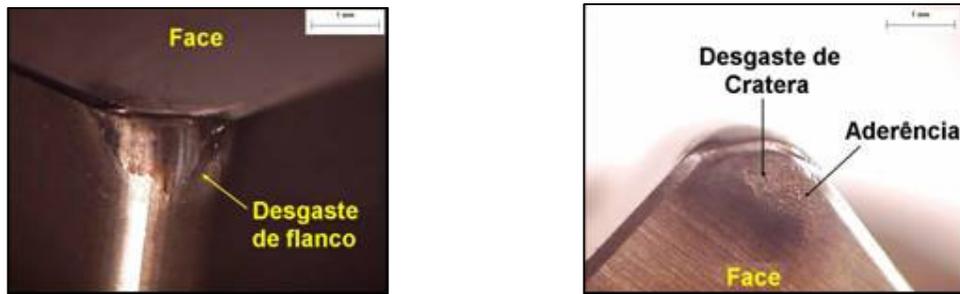


Figura 12: Caracterização do desgaste no inserto cerâmico na remoção da camada bruta de fundição do FC 250

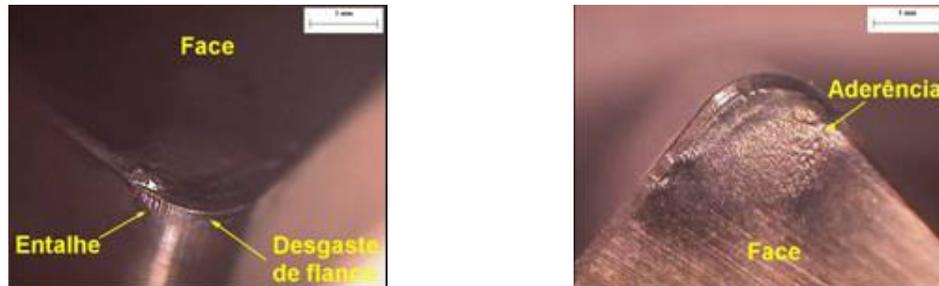


Figura 13: Caracterização do desgaste no inserto cerâmico após a remoção da camada bruta de fundição do FC 250

## 5. CONCLUSÕES

A presente pesquisa de usinabilidade realizada com os ferros fundidos FC 250 Ti e o FC 250 utilizando ferramentas cerâmica na remoção da camada bruta de fundição e na camada pré usinada, isto é, após a remoção da camada bruta, a velocidade de corte de 800 m/min permite concluir:

- Para as duas ligas a usinabilidade da camada bruta de fundição promove um desgaste muito acentuado na ferramenta de corte em relação à remoção do material isento desta camada bruta.
- Constata-se que, a ferramenta cerâmica utilizada na remoção da camada bruta de fundição da liga FC 250 Ti teve um desgaste doze vezes maior para um desgaste de flanco de 0,4 mm, isto quando comparada ao desgaste após a remoção da camada bruta
- Para um nível de confiança de 95%, a usinabilidade da camada bruta de fundição difere significativamente quando comparada com a usinabilidade da camada pré-usinada, para uma velocidade de corte de 800 m/min.
- Para um nível de confiança de 95%, pode-se afirmar que quando se compara a usinabilidade da camada bruta de fundição entre as ligas FC 250 e FC 250 Ti, não há diferenças significativas no desgaste de flanco das ferramentas. Esta afirmação é verdadeira também para a remoção da camada pré usinada.
- A remoção da camada bruta de fundição pode-se tornar um problema adicional na prática da usinagem, pois devido à maior intensidade do desgaste da ferramenta é necessário o uso de uma ferramenta específica para remover essa camada.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica (POSMEC) da Universidade Federal de Santa Catarina e à empresa Tupy Fundições Ltda, pelo apoio técnico, fornecimento de matéria-prima, disponibilidade de máquina e bibliografia utilizada neste trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS

1. PEREIRA, C.; Correia, S. J.; Pivato C. Como se apresentam e para que servem os lubrificantes e refrigerantes. Revista Máquinas e Metais, São Paulo, Brasil, p. 352-359, Abril, 2005.

2. LINK, D.; Ceramic Cutting Tools. 1º Simpósio Brasileiro sobre Tecnologia de Usinagem. São Paulo, 1989.
3. Cristopher, J & Grabel, J. Machining and grinding of iron castings. In: Goodrich, G M. Iron Castings Engineering Handbook. AFS, 2003.
4. MACNAUGHTA, M. Cast iron brake discs – a brief history of their development and metallurgy. Technical Report. FOUNDRYMAN. Out. 98, p. 321 – 324.
5. DINIZ, A. E.; MARCONDES, F.C.; COPPINI, N. L. Tecnologia da Usinagem dos Materiais, 2 ed., São Paulo: mm Editora, 1999. 242p.
6. GUESSER, W. L.; GUEDES, L. C.; Desenvolvimentos recentes em ferros fundidos aplicados à indústria automobilística. 9º Simpósio de Engenharia Automotiva. São Paulo, p.298-307. Agosto 1997.
7. PEREIRA, A. A.; BOEHS,L; GUESSER, WL., Como as inclusões no material da peça podem afetar o desgaste da ferramenta? O Mundo da Usinagem 4ª Edição - 2005
8. PEREIRA, A. A.: Influência do teor de enxofre na microestrutura, nas propriedades mecânicas e na usinabilidade do ferro fundido cinzento FC25, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
9. GUESSER, Wilson L. et al., “Ferros Fundidos Empregados para Discos e Tambores de Freio”, in Brake Colloquium, SAE, 2003, Brasil - Gramado, 2003.
10. Marwanga et. all, Cast Iron Graphite Shape, Fine Structure Are Keys To Cheaper, Faster Machining 1999.
11. FERRARESI, D. 1977, “Fundamentos da Usinagem dos Metais”, Editora Edgard Blücher Ltda, Vol.1, São Paulo, Brasil, 751 pág.
12. MONTGOMERY, D.C. Design and Analysis of Experiments. ed. 4. United States of America: John Wiley & Sons, 1997. p. 63 – 568.
13. SOUTO, U.B. et al. Torneamento de discos de freio: Avaliação da topografia da superfície e do fenômeno Open Grain. SAE, 2002.

## **GRAY CAST IRON ALLOYS MACHINING USED IN AUTO BREAK DISCS MANUFACTURING.**

### **Paulo Roberto Meurer**

Tupy Fundições Ltda. Foundry B – Automotive Parts. R. Albano Schmidt, 3400. Joinville, SC.  
[prmeurer@tupy.com.br](mailto:prmeurer@tupy.com.br)

### **Lourival Boehs**

GRUCON – Dept. of Mechanical Engineering. Federal University at Santa Catarina.  
[boehs@emc.ufsc.br](mailto:boehs@emc.ufsc.br)

### **Wilson L. Guesser**

Tupy Fundições Ltda. Metallurgical Engineering. Joinville/SC.UDESC  
[wguesser@tupy.com.br](mailto:wguesser@tupy.com.br)

***Abstract.** The addition of alloying elements in ventilated brake discs enhance the wear and mechanical resistance which in turns improves the pearlitic gray cast iron. However, the as cast skin removal represents an increase in wear of the machining tool regardless of what alloy is used. The two types of pearlitic gray cast iron the FC 250 and the FC250 alloyed with titanium alloy used in the study were produced in large scale manufacturing conditions in an automotive part foundry, in order to represent the production line of this product segment. The effects of the variation of alloying elements in machining were studied in turning experiments as well as in rough machining, with a cutting speed of 800m/min, using a ceramic tool (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiCN) with no cutting fluid. The study compares the influence in rough machining of the as cast skin and also the rough machining after the removal of this layer, where there is a substantial yielding loss of the tool at the as cast skin removal.*

***Keywords.** Pearlitic gray cast iron, machinability, brake disc, ceramic.*