

# AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO REVESTIMENTO NA FURAÇÃO DO FERRO FUNDIDO VERMICULAR

## **Cássio Luiz Francisco de Andrade**

Tupy Fundições Ltda.  
Rua Albano Schmidt, 3400  
89227-700 – Joinville-SC  
[cassio@tupy.com.br](mailto:cassio@tupy.com.br)

## **Rolf Bertrand Schroeter**

Departamento de Engenharia Mecânica  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Campus Universitário - Trindade  
88010-970 – Florianópolis-SC  
[rolf@imp.ufsc.br](mailto:rolf@imp.ufsc.br)

## **Jefferson de Oliveira Gomes**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica  
Praça Marechal Eduardo Gomes  
Vila das Acácias  
12228-900 – São José dos Campos-SP  
[gomes@ita.br](mailto:gomes@ita.br)

**Resumo:** *O propósito deste trabalho é a análise do comportamento dos revestimentos TiN e TiNAl, este último nas condições de mono e multicamadas, na usinagem do ferro fundido vermicular. É estudada a operação de furação, a qual se apresenta como uma das maiores em tempo efetivo de corte na usinagem de blocos de motores. A análise foi desenvolvida com a furação de placas de ferro fundido vermicular dentro das mesmas características normalmente utilizadas para a fabricação de blocos de motores. Foram utilizadas duas velocidades de corte diferentes e um avanço. As brocas foram analisadas em MEV após atingir seu final de vida, baseado no valor  $VB_{max}$  de 0,2 mm. O revestimento TiN apresentou menor resistência ao efeito abrasivo do ferro fundido vermicular, sendo arrancado completamente às velocidades mais altas. O revestimento TiNAl multicamadas apresentou, por sua vez, os melhores resultados.*

**Palavras-chave:** *vermicular, furação, revestimento, abrasão, adesão.*

## **1. INTRODUÇÃO**

Com a crescente exigência das Leis de Emissões, principalmente nos países desenvolvidos, e a crescente demanda do consumidor por produtos de alto desempenho a baixos custos, a pressão de combustão mais alta é apontada hoje como um dos principais itens para o atendimento de ambas as exigências. Através de tal aumento, a queima de combustíveis é otimizada, resultando em emissões de volumes menores de componentes nocivos no meio-ambiente. Além disto, obtém-se melhor rendimento do motor, com aumento da potência disponível.

Os aumentos de pressão, por outro lado, geralmente são sinônimos de maiores esforços nas paredes da câmara de combustão. Sendo assim, os materiais dos quais se constituem os blocos de motores devem possuir resistência mecânica mais alta possível, de tal forma a minimizar ou mesmo evitar aumentos das espessuras das paredes dos cilindros, o que por consequência aumentaria o peso do componente, podendo ser prejudicial ao desempenho do veículo.

Entretanto, os materiais hoje aplicados, como o ferro fundido cinzento e o alumínio, são limitantes dos novos projetos de motores, devido à sua relativa baixa resistência à tração.

O ferro fundido vermicular por sua vez, apresentando quase o dobro da resistência à tração do ferro fundido cinzento, maior resistência à fadiga e maior alongamento, apresenta-se como excelente opção para construção de blocos e cabeçotes de motores. Devido à sua maior resistência mecânica, ele não só propicia a aplicação de maiores pressões de combustão, como também, em geral, permite a redução de paredes de cilindros, resultando desta maneira em redução do peso do bloco. Reduzindo-se o tamanho do bloco, necessariamente reduz-se o tamanho e peso de outros componentes, como o virabrequim e o cabeçote, e com isto, redução do peso total do motor. Em outras palavras, aumento da densidade de potência obtida do aumento da pressão de combustão e da redução do peso do propulsor.

No entanto, a maior resistência mecânica significa menor usinabilidade do ferro fundido vermicular, considerando-se os critérios de vida de ferramenta e força de usinagem.

Nos primeiros testes realizados na Europa há alguns anos, verificou-se a redução da vida de ferramentas de geometrias definidas em praticamente todas as operações comumente utilizadas em blocos de motores. A operação de mandrilamento de cilindros se mostrou como a mais crítica ao revelar diminuição da vida de insertos de CBN e cerâmica na ordem de 95%, quando comparada ao ferro fundido cinzento. Para as demais operações, verificou-se também redução das vidas de ferramentas, como, por exemplo, no fresamento e na furação, ambos entre 30 e 50%.

Considerando o fato da furação ser uma das operações de maior tempo efetivo de corte em um bloco de motor, em geral, responsável entre 20 a 30% dos custos de ferramentas e set up de máquinas, ela deve ser vista como operação importante na usinagem de vermicular.

Com base no exposto acima e no fato de que com os avanços na medição eletrônica e na tecnologia de controle do processo de fundição, o ferro fundido vermicular (ou Compacted Graphite Iron ou, simplesmente, CGI) tem se tornado um material viável sob o ponto de vista de alto volume de produção, este trabalho foca o estudo do comportamento de dois tipos de revestimentos na furação do ferro fundido vermicular. Tais revestimentos figuram entre os mais avançados e utilizados na usinagem em geral na atualidade.

A metodologia adotada foi a furação de placas de ferro fundido vermicular, na mesma constituição utilizada para construção de blocos de motores diesel, com o uso de brocas de canal reto, revestidas com TiN e TiNAl mono e multicamadas, a 2 velocidades de corte e um avanço. A análise do comportamento dos revestimentos foi realizada no Microscópio Eletrônico de Varredura e com o uso da micro-sonda, através da qual foi possível a identificação de elementos químicos presentes nas áreas das ferramentas analisadas, assim como a detecção de possíveis arranques dos recobrimentos, causados pela alta abrasão e adesão do ferro fundido vermicular.

## **2. O FERRO FUNDIDO VERMICULAR**

Apresentando maior resistência mecânica e tenacidade do que o ferro fundido cinzento e maior facilidade de fundição, usinabilidade e condutividade térmica que o ferro fundido nodular, o vermicular é ideal para componentes com cargas mecânicas e térmicas simultâneas, tais como os blocos e cabeçotes para motores de automóveis e caminhões (Dawson<sup>(1)</sup>).

As propriedades mecânicas e físicas do CGI são determinadas pela forma da grafita, como também da relação perlita/ferrita. A resistência à tração e o módulo de elasticidade crescem com o aumento da nodularidade, mas decresce rapidamente com a formação de grafita lamelar conforme afirmado por Dawson<sup>(1)</sup>. Os módulos de elasticidade de componentes em ferro fundido vermicular carregados dinamicamente podem ser de 50 a 75% mais altos do que componentes idênticamente projetados em ferro fundido cinzento. Dessa forma, segundo Dawson<sup>(1)</sup>, o uso do ferro fundido vermicular é bastante vantajoso em aplicações onde as propriedades mecânicas do ferro fundido cinzento são insuficientes ou nas quais as propriedades do ferro fundido nodular são superdimensionadas.

Segundo Marquard<sup>(2)</sup>, as propriedades do CGI oferecem aos projetista de motores os seguintes benefícios:

- a) Resistência a altas cargas;

- b) Potencial para aumento da pressão de combustão;
- c) Potencial redução de peso e tamanho de componentes, através da redução das espessuras das paredes;
- d) Boa resistência ao desgaste;
- e) Redução dos fatores de segurança, devido à menor variação nas propriedades do fundido;
- f) Redução dos riscos de falha por fragilidade no manuseio do componente durante a sua montagem ou mesmo durante o seu trabalho, graças à alta ductilidade do material;
- g) Alta resistência, sem a necessidade de elementos de liga na estrutura;
- h) Maior facilidade de fundição de componentes complexos, menor acúmulo de tensões devido a sua alta condutividade térmica e módulo de elasticidade mais baixo, melhor transferência de calor.

Porém, o ferro fundido vermicular possui pior usinabilidade, se comparado ao ferro fundido cinzento, quando considerados os critérios vida da ferramenta e força de corte devido às características da grafita, cujas extremidades são arredondadas, além de disposição interconectadas entre elas. No ferro fundido cinzento, a grafita possui forma lamelar e extremidades afiladas, o que facilita a usinagem deste material. Já o nodular, cujas grafitas se apresentam sob a forma de nódulos, apresenta a pior usinabilidade entre os 3 tipos de ferros fundidos, se considerados os mesmos critérios. Na figura 1 abaixo são ilustradas as estruturas dos três materiais citados.

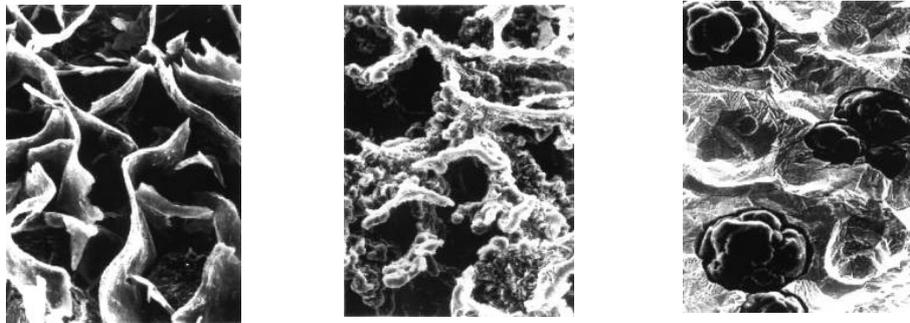


Figura 1: Formas da grafita observadas por microscopia de varredura: a) grafita lamelar (cinzento); b) grafita vermicular; c) grafita nodular.

Segundo Reuter et al<sup>(3)</sup>, a forma, o tamanho e a quantidade da grafita são mais significativos do que a composição química nas propriedades mecânicas dos ferros fundidos.

Por ser material de maior ductilidade do que o ferro fundido cinzento, o cavaco do ferro fundido vermicular permanece mais tempo em contato com a superfície de saída, ou face, da ferramenta, causando desgaste em menor espaço de tempo, aliado ao fato do vermicular ser mais abrasivo que o cinzento, conforme estudos realizados pelo PTW<sup>(4)</sup>

Steve Dawson<sup>(1)</sup> comprovou a influência da forma da grafita na usinabilidade do ferro fundido vermicular, ao verificar que a vida da ferramenta foi 30% maior no torneamento de material cujas grafitas se apresentavam sob as formas lamelar e vermicular em comparação a um material que possuía 90% de grafita vermicular em sua estrutura.

Além da forma da grafita, outros fatores que influenciam diretamente a usinabilidade são:

- a) Tipo e quantidade de perlita;
- b) Presença de elementos de liga, tais como Sb, Mn, Si, S, Ti, Cr
- c) Presença de inclusões.

### 3. TIPOS DE REVESTIMENTOS DE FERRAMENTAS

Os revestimentos de ferramentas constituem-se atualmente na base da técnica de usinagem. De acordo com pesquisas, a maior parte dos tipos de metais duros atualmente empregados propicia

grande produtividade devido à presença de algum tipo de revestimento (Schroeter e Weingaertner<sup>(5)</sup>).

A função primária de um revestimento é a da proteção do substrato contra o desgaste, causado por abrasão e adesão do material usinado, difusão e oxidação. Isto é possível por causa da alta dureza e estabilidade química apresentada pelo revestimento.

Os processos de recobrimento de ferramentas podem ser químico ou CVD (*Chemical Vapor Deposition*) ou físico ou PVD (*Physical Vapor Deposition*).

Ambos possuem como conceito a deposição de finas camadas de material composto duro, porém sua diferença básica está no tipo de processo e temperatura.

No processo CVD, o material do revestimento é formado através de uma reação química diretamente na superfície das peças a serem revestidas na fase gasosas, segundo Schroeter e Weingaertner<sup>(5)</sup>, e ocorre em geral sob altas temperaturas (processo HT-CVD, ou High Temperature – CVD), entre 900 a 1100 °C, fato este que elimina a possibilidade do uso deste processo no recobrimento de ferramentas de aço-rápido.

Revestimentos obtidos sob altas temperaturas possuem propriedade de alta aderência ao substrato. Isto é observado em ferramentas de metal duro com alta resistência ao desgaste em função da espessura de material duro.

A tenacidade do substrato de metal duro revestido no processo HT-CVD, quando comparado com o mesmo substrato não revestido, reduz-se, sendo isto uma outra desvantagem deste processo. De acordo com Schroeter e Weingaertner<sup>(5)</sup>, a fim de se evitar tais efeitos negativos, quando possível, o processo MT-CVD (*Medium Temperature – CVD*) é aplicado. Neste processo, a temperatura para agregação de temperaturas varia no intervalo de 700 a 900 °C, apresentando entre outras as vantagens de causar menores solicitações térmicas ao material de corte, menor risco de descarbonetação, menor presença de trincas, quando considerados os revestimentos com camadas múltiplas.

No processo PVD a temperatura para deposição do revestimento se situa entre 200 e 600 °C, sendo largamente utilizado no recobrimento de ferramentas de aço-rápido. Além disto, a resistência à flexão do substrato não é afetada em função da baixa temperatura (König<sup>(6)</sup>).

Ainda segundo König<sup>(6)</sup>, a aderência do revestimento pelo processo PVD é melhor obtida realizando-se um pré-trabalho na superfície na qual ele será aplicado.

Ao contrário do processo CVD, no qual a espessura da camada do revestimento pode atingir até 10 µm, no processo PVD as espessuras se limitam entre 3 e 5 µm, conforme citado por Schroeter e Weingaertner<sup>(5)</sup>.

Os principais tipos de revestimentos hoje utilizados para usinagem de metais ferrosos são:

- a) Nitreto de Titânio (TiN): baseia-se na tendência da troca entre os átomos do metal e do nitrogênio, possuindo assim alta estabilidade termodinâmica e, ainda, alta entalpia de formação. Apresenta-se na cor dourada nas ferramentas de corte.
- b) Carbonitreto de Titânio (Ti(C,N)): é bastante frágil se comparado com o TiN, pela introdução de átomos de carbono ao invés de átomos de nitrogênio, o que lhe confere maior dureza, por outro lado. A sua fragilidade, no entanto, é minimizada pela aplicação em multicamadas.
- c) Nitreto de Titânio Alumínio (TiNAl); proporciona maior resistência da ferramenta ao desgaste por oxidação, comparado aos dois revestimentos citados acima. Recomendado em usinagens nas quais estão presentes altas temperaturas de corte, como também para usinagem de materiais abrasivos, como o ferro fundido, segundo Schroeter e Weingaertner<sup>(5)</sup>.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados ensaios de furação em placas de vermicular, medindo 400 x 300 x 45 mm, fabricadas com as mesmas características do material com o qual são construídos os blocos de motores, utilizando-se brocas de canais retos de diâmetro de 8 mm.

Em ensaios preliminares, definiu-se o desgaste  $V_{Bmax}$  da superfície de incidência ou flanco de 0.2 mm. Os furos foram distribuídos nas placas de forma a se otimizar a utilização do material disponível. Foram testados 2 tipos de revestimentos, TiN e TiNAl, sendo este último nas condições de mono e multicamadas.

A escolha dos tipos de revestimentos citados foi realizada nos mesmos ensaios preliminares citados acima, a partir dos quais o carbonitreto de titânio foi descartado, juntamente com a broca sem revestimento, devido ao pior desempenho em relação às demais. Tal comportamento já era esperado, visto que o Ti(C,N) não é a primeira recomendação dos especialistas e fabricantes de ferramentas de furação para usinagem de materiais abrasivos. Além disto, economicamente, este revestimento não se torna viável, neste caso, para utilização na furação de blocos de motores em vermicular em produção série, pois o recondicionamento da ferramenta, isto é, o recobrimento com Ti(C,N) após re-afiação, não é factível.

Os estudos foram realizados sob 2 velocidades de corte,  $V_c = 200$  m/min e  $V_c = 80$  m/min, sendo a de maior valor realizada em 2 fases, denominadas “vida média” e “fim-de-vida”. Na primeira, a broca era retirada assim que atingisse o desgaste  $V_{Bmax}$  de 0,1 mm. Para a menor velocidade de corte, os ensaios foram executados até o critério de fim-de-vida citado acima.

As brocas foram analisadas no Microscópio Eletrônico de Varredura e os elementos químicos presentes em 3 regiões distintas nas superfícies de saída (ou face) e de folga (ou incidência) foram identificados por micro-sonda (EDS), sendo possível, desta maneira, detectar possíveis arranques do revestimento nas superfícies da ferramenta.

O material utilizado nos ensaios foi caracterizado, conforme a tabela 1.

Tabela 1: Características do material de ensaio quanto à quantidade de grafita vermicular e perlita

Material	% Vermicular	% Nodular	Forma da Grafita	% Perlita	% Ferrita	Dureza [HB]
Vermicular	86	14	III e IV	85	15	216

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Observações das Superfícies de Saída das Brocas no MEV e Análise por EDS

As figuras abaixo ilustram as observações no MEV, como também são mostrados alguns espectros para detecção de elementos químicos nas áreas identificadas.

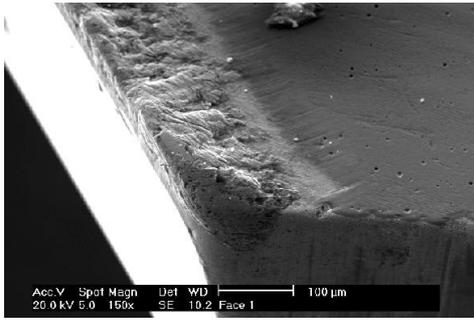


Figura 3: Superfície de saída da broca revestida com TiN, após fim-de-vida ( $V_c = 80 \text{ m/min}$ )

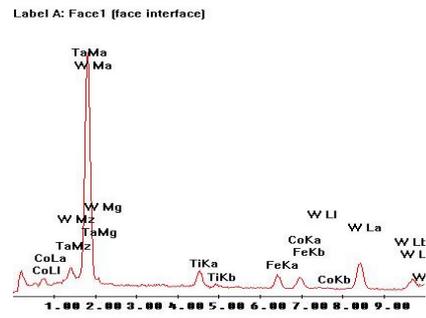


Figura 4: Espectro da superfície de saída da broca revestida com TiN após fim-de-vida ( $V_c = 80 \text{ m/min}$ )

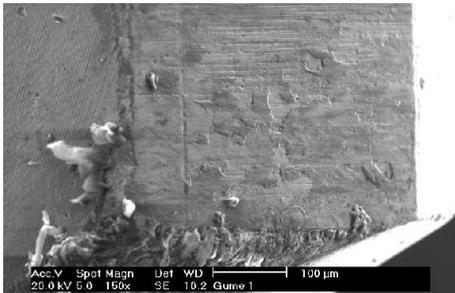


Figura 5: Superfície de saída da broca revestida com TiN, após fim-de-vida ( $V_c = 200 \text{ m/min}$ )

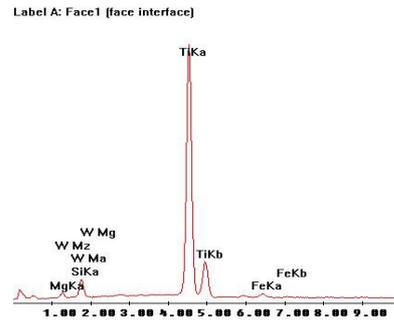


Figura 6: Espectro da superfície de saída da broca revestida com TiN após fim-de-vida ( $V_c = 200 \text{ m/min}$ )

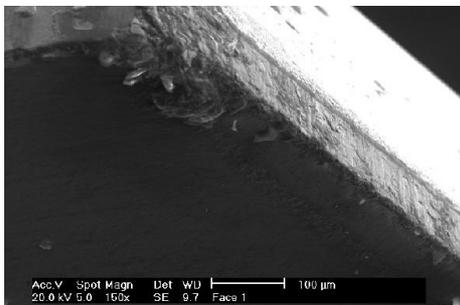


Figura 7: Superfície de saída da broca revestida com TiAlN, multicamada, após fim-de-vida ( $V_c = 80 \text{ m/min}$ )

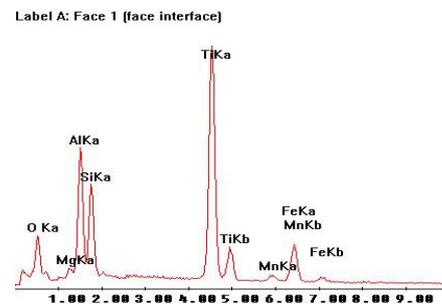


Figura 8: Espectro da superfície de saída da broca revestida com TiAlN, multicamada, após fim-de-vida ( $V_c = 80 \text{ m/min}$ )

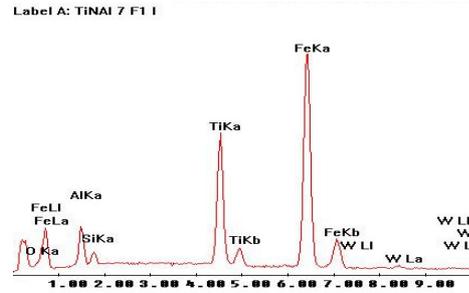
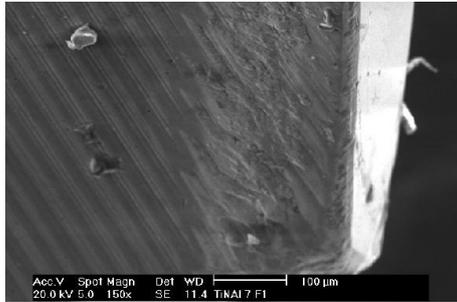


Figura 9: Superfície de saída da broca revestida com TiNAl, multicamada, após fim-de-vida ( $V_c = 200\text{m/min}$ ).

Figura 10: Espectro da superfície de saída da broca revestida com TiNAl, multicamada, após fim-de-vida ( $V_c = 200\text{ m/min}$ ).

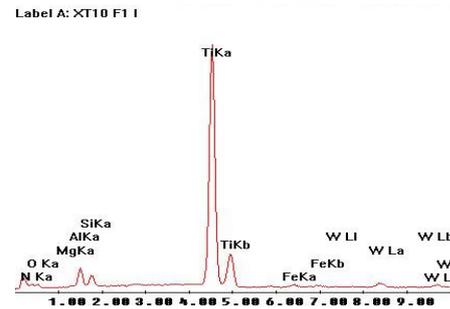
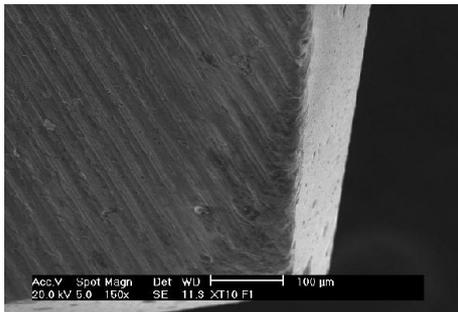


Figura 11: Superfície de saída da broca revestida com TiNAl, monocamada, após fim-de-vida ( $V_c = 80\text{m/min}$ ).

Figura 12: Espectro da superfície de saída da broca revestida com TiNAl, monocamada, após fim-de-vida ( $V_c = 80\text{ m/min}$ ).

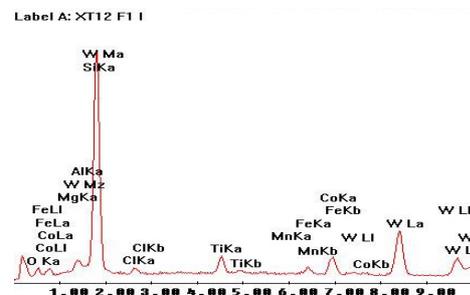
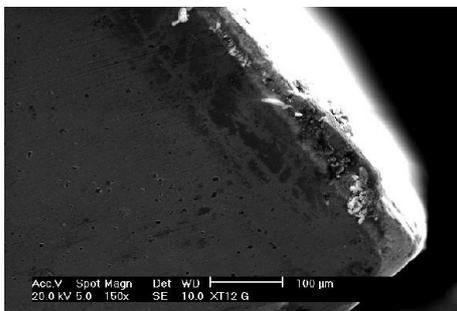


Figura 13: Superfície de saída da broca revestida com TiNAl, monocamada, após fim-de-vida ( $V_c = 200\text{m/min}$ ).

Figura 14: Espectro da superfície de saída da broca revestida com TiNAl, monocamada, após fim-de-vida ( $V_c = 200\text{ m/min}$ ).

Através das figuras 3 a 14 verifica-se que para as velocidades de corte de 80 e 200 m/min, o revestimento multicamadas TiNAl apresentou o melhor comportamento, sendo que para a primeira velocidade, na região controlada, ele ainda se mostrou presente, sem nenhuma exposição do substrato, com base na não detecção do tungstênio (W) pela micro-sonda. Nos dois tipos de revestimentos restantes, verifica-se que na mesma área analisada o substrato está exposto, comprovando o arranque do recobrimento.

Em todos os tipos de revestimentos observa-se adesão de material para a velocidade de corte de 80 m/min, porém, através da figura 3, verifica-se que a quantidade de material aderido foi maior.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse trabalho foi a análise do comportamento de 2 tipos diferentes de revestimentos na usinagem do ferro fundido vermicular, diante do mecanismo de abrasão deste material, comprovadamente maior quando comparado ao ferro fundido cinzento.

Dos resultados pode-se concluir que, dos revestimentos mais comumente utilizados atualmente, o revestimento TiNAl, multicamadas, apresentou melhor desempenho que os outros 2 estudados. Sob velocidade de 80 m/min, as multicamadas de revestimentos absorveram melhor a usinagem do vermicular.

Observou-se também a presença de material aderido à superfície de saída da broca, principalmente à velocidade mais baixa, devido à maior ductilidade do ferro fundido vermicular. A formação da aresta postiça de corte foi mais evidente nas ferramentas revestidas com TiN à velocidade de 80 m/min do que nos revestimentos TiNAl. Este mecanismo colabora para o arranque do revestimento, o qual também foi mais marcante na broca revestida com TiN. Conforme ilustrado na figura 2, sob velocidade de corte de 80 m/min, houve arranque de revestimento na área analisada. O mesmo ocorreu para o recobrimento TiNAl de camada única.

Já o revestimento TiNAl de multicamadas mostrou-se mais resistente aos mecanismos de abrasão e adesão do ferro fundido vermicular, não apresentando traços de arranque da superfície analisada. Provavelmente, o arranque não foi o suficiente para atingir todas as camadas depositadas durante o processo PVD.

Além disso, verifica-se que os gumes (ou arestas) nas brocas multi revestidas com TiNAl apresentam melhor sanidade do que aqueles revestidos com monocamadas. Já a broca revestida com TiN teve seu gume praticamente inutilizado após sua utilização a  $V_c$  de 200 m/min.

Tais resultados comprovam a superioridade do revestimento de Nitreto de Alumínio-Titânio e do revestimento multicamadas na resistência à abrasão (o ferro vermicular é altamente abrasivo quando comparado ao ferro fundido cinzento, por exemplo), na dureza a quente e na resistência à oxidação, sendo altamente indicado para aplicação na usinagem com consideráveis solicitações térmicas, segundo Schroeter e Weingaertner<sup>(5)</sup>.

Considerando que a resistência à abrasão depende fundamentalmente da dureza do material da ferramenta e que esta também está ligada à resistência ao desgaste provocado pela aderência de material na face da ferramenta, conforme Stemmer<sup>(7)</sup>, parte dela pelo arranque do gume postiço (APC) e parte dele também pelo efeito abrasivo deste e ainda com base no desgaste apresentado pela superfície de saída e pelas arestas de corte, conclui-se ser o revestimento TiNAl a primeira recomendação para furação do ferro fundido vermicular, pois, além da multiplicidade de camadas, o alumínio, com as suas características, proporciona maior resistência ao desgaste e maior resistência às temperaturas de corte.

Embora não apresentados aqui, foram realizados ensaios de vida de brocas de canal reto revestidas com TiN e TiNAl, mono e multicamadas, sendo que este último apresentou destacadamente melhores resultados que os dois tipos restantes.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Tupy Fundições pelo fornecimento do tema e dos materiais e ferramentas para ensaios, além dos fundos para transporte destes; à AIM, mais propriamente ao ITA, por disponibilizar um centro de usinagem e ao Departamento de Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pela utilização do MEV e da micro-sonda.

## 8. REFERÊNCIAS

1. DAWSON, S., et al. **The effect of metallurgical Variables on the machinability of compacted graphite iron.** In: Design e Machining Workshop – CGI, 1999.

2. MARQUARD, Ralf, et al. **Crank it up – New Materials create New Possibilities. Engine Technology International**, 1998.
3. REUTER, Ulrich, et al. **The wear process of CGI cutting and machining developments**. In: **Compacted Graphite Iron – Machining Workshop**, 2000, Darmstadt, Germany.
4. KOPKA, F., ABELE, E. **Economical Processing of Compacted Graphite Iron**. In: **Compacted Graphite Iron – Machining Workshop**, 2003, Darmstadt, Germany
5. SCHROETER, R. B., WEINGAERTNER, W. L. **Tecnologia da Usinagem com Ferramentas de Corte de Geometria Definida – Parte I**. Apostila – UFSC, 2001.
6. KÖNIG, Wilfried e KLOCKE, Fritz. **Fertigungsverfahren 1: Drehen, Fräsen, Bohren**. 5. Auflage. Aachen, 1997.
7. STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte I**. 4. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995. 249 p.

# EVALUATION OF COATINGS PERFORMANCE ON CGI DRILLING

## **Cássio Luiz Francisco de Andrade**

Tupy Fundições Ltda.  
Rua Albano Schmidt, 3400  
89227-700 – Joinville-SC  
[cassio@tupy.com.br](mailto:cassio@tupy.com.br)

## **Rolf Bertrand Schroeter**

Departamento de Engenharia Mecânica  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Campus Universitário - Trindade  
88010-970 – Florianópolis-SC  
[rolf@imp.ufsc.br](mailto:rolf@imp.ufsc.br)

## **Jefferson de Oliveira Gomes**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica  
Praça Marechal Eduardo Gomes  
Vila das Acácias  
12228-900 – São José dos Campos-SP  
[gomes@ita.br](mailto:gomes@ita.br)

**Abstract:** *This research intends to study the behavior of TiN and TiNAl mono and multilayer coatings at CGI drilling, which is one of the most intensive operation on cylinder block machining in terms of cutting effective time. The analyzes took into account the same chemical composition of usual material for engine blocks manufacturing. The trials were carried out under 2 cutting speeds and at 1 feed rate. A Scanning Electronic Microscopy and a EDS supported the analyzes of coating of the drill rake face, after  $V_{Bmax}$  achieving 0.2mm as tool life criterium. The TiN coating showed lower strength to the CGI abrasive characteristic, being completely eliminated at higher speed, compared to TiNAl multilayer coating, which presented the best behavior.*

**Keywords:** CGI, drilling, coating, abrasion, adhesion