



FURAÇÃO DE FERRO FUNDIDO CINZENTO COM BROCAS DE METAL DURO INTEGRAL

Sandro Cardoso Santos

Álison Rocha Machado

Universidade Federal de Uberlândia, Departamento de Engenharia Mecânica
CEP: 38400-100 – Uberlândia MG, Brasil

Antônio Maria Souza Júnior

FIAT Automóveis S. A.

BR 381-Km 429, CEP: 32501-970, Betim, MG.

***Resumo.** Este trabalho apresenta os resultados obtidos na investigação de cinco diferentes tipos de brocas de metal duro integral, na furação a seco de ferro fundido cinzento. As ferramentas apresentam entre si diferenças de geometria (ângulos de ponta e de hélice) e quanto à presença ou não de revestimentos (TiN e TiAlN). O desempenho das ferramentas é analisado com base na evolução do desgaste de flanco máximo e na qualidade dimensional dos furos. As ferramentas revestidas com TiAlN apresentaram os melhores resultados tanto nos testes de vida, quanto na qualidade dos furos produzidos.*

***Palavras-chave:** Furação, Ferro Fundido, Brocas de Metal Duro Integral, Brocas de Metal Duro Revestidas.*

1. INTRODUÇÃO

O processo de furação ocupa, ao lado dos processos de torneamento e fresamento, uma posição de destaque em relação ao número de operações realizadas e ao tempo total de usinagem (Tönshoff et al., 1994). Apesar disso, a introdução dos novos materiais para ferramentas de corte desenvolvidos ao longo do tempo, não ocorreu de forma simultânea nos três principais processos de usinagem. O desenvolvimento das diversas classes de metal duro e das cerâmicas, principalmente, tornaram obsoletas as ferramentas de aço rápido nos processos de torneamento e fresamento. O emprego de materiais mais resistentes ao desgaste no processo de furação, tais como o metal duro e as cerâmicas, ocorreu décadas após a sua introdução nos demais processos. No início da década de 90 as brocas fabricadas em aço-rápido correspondiam a 60 % do mercado mundial (Cselle, 1997), fato que é explicado pela limitação da velocidade de corte imposta pelo diâmetro das brocas e pela complexidade da geometria dessas ferramentas, que dificulta a utilização de materiais mais resistentes na sua fabricação.

O emprego de materiais de ferramentas mais resistentes ao desgaste no processo de furação exige, por razões econômicas e operacionais, a elevação da faixa de velocidades de

corde empregadas, o que só é possível com o aumento da rotação do eixo-árvore. Isto exige boas características de potência e rigidez das máquinas-ferramenta. O desenvolvimento da tecnologia moderna de máquinas-ferramenta, normalmente com comando numérico supriu as necessidades de potência e rigidez necessárias para a introdução de brocas fabricadas em metal duro e cerâmica.

Geometrias complexas das ferramentas de furar deixaram de ser problema maior com a evolução do processo de metalurgia do pó.

As vantagens obtidas com a utilização de faixas de velocidade de corte mais elevadas no processo de furação são as mesmas observadas para os demais processos, como o aumento da taxa de remoção de material, melhor acabamento superficial e melhor qualidade dimensional.

Os custos relacionados à introdução de brocas de metal duro integral em uma linha de produção exigem que a suas potencialidades sejam exploradas ao máximo, o que torna imprescindível o estudo de seu comportamento. Esta situação, associada ao pequeno número de trabalhos publicados que abordam o assunto motivou este trabalho, que tem por objetivo apresentar resultados relacionados ao comportamento das brocas de metal duro integral, de vários fabricantes distintos, na usinagem de ferro fundido cinzento.

O comportamento das ferramentas é estudado com base na evolução do desgaste ao longo da vida das ferramentas e na qualidade dimensional dos furos gerados (diâmetro).

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

As barras de ferro fundido GH 190, cuja composição química é apresentada na tabela 1, tiveram as superfícies de entrada e saída dos furos fresada, com o objetivo de eliminar a superfície bruta de fundição e de padronizar a sua espessura em 45 mm.

Tabela 1 – Características do ferro fundido GH 190 (dados obtidos junto ao fornecedor)

Composição química				Características Estruturais			Dureza (HV)
%C	%Cr	%S	%P	matriz	grafita	Cementita e carbono livre	200
3,2 – 3,5	≤ 0,2	≤ 0,15	≤ 0,10	Perlítico lamelar máx. 5% de ferrita	Tipos B e D	Máx. 1%	

Foram realizados furos passantes, sem fluido de corte. As ferramentas foram obtidas de 4 fabricantes distintos, com geometrias e características definidas livremente para atender a aplicação aqui estipulada.

As ferramentas utilizadas na realização dos ensaios e seus respectivos códigos são mostradas na figura 1.

O código das ferramentas foi adotado com o objetivo de caracterizá-las de acordo com o fabricante (designado pelas letras A, B, C e E) e com a presença de revestimento (TiN ou TiAlN). As condições de corte adotadas foram:

- ◆ $v_c = 110$ m/min
- ◆ $f = 0,25$ mm/volta

A tabela 2 apresenta as características geométricas das brocas utilizadas.

Tabela 2 – Características geométricas das ferramentas

Ferramentas				
AS	AS _{TiAlN}	BS _{TiAlN}	CS	ES _{TiN}
◆ Canais helicoidais	◆ Canais helicoidais	◆ Canais helicoidais	◆ Canais helicoidais	◆ Canais helicoidais
◆ Sem revestimento	◆ Revestimento de TiAlN	◆ Revestimento de TiAlN	◆ Sem revestimento	◆ Revestimento de TiN
◆ Ângulo de ponta: 130°	◆ Ângulo de ponta: 130°	◆ Ângulo de ponta: 140°	◆ Ângulo de ponta: 140°	◆ Ângulo de ponta: 130°.
◆ Comprimento de hélice: 60 mm	◆ Comprimento de hélice: 60 mm	◆ Comprimento de hélice: 60 mm	◆ Comprimento de hélice: 40 mm	◆ Ângulo de hélice : 40°.
◆ Ângulo de hélice: 10°	◆ Ângulo de hélice: 10°	◆ Ângulo de hélice: 40°	◆ Ângulo de hélice: 25°	

O estudo da vida das ferramentas foi realizado através da medição do desgaste de flanco máximo a cada cinco furos executados. As medidas do desgaste foram realizadas em um microscópio ferramenteiro.

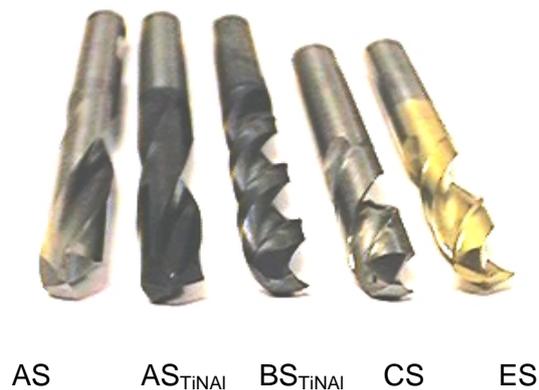


Figura 1 – Ferramentas utilizadas nos ensaios

O critério de fim de vida adotado foi a perda da capacidade de corte das ferramentas evidenciada por um ou mais dos seguintes fatores:

- ◆ Elevação do nível de ruídos emitidos.
- ◆ Enrubescimento da ponta da ferramenta.
- ◆ Aumento exagerado da potência consumida, a ponto de reduzir a rotação do eixo-árvore da máquina-ferramenta.
- ◆ Falha catastrófica.

O critério de fim de vida foi adotado com base na norma NT MECH 038 da NORDTEST (1997) que indica a falha catastrófica como critério de fim de vida para brocas de aço rápido, utilizadas na análise do comportamento de fluidos de corte. Decidiu-se adotar este critério devido a falta de recomendações específicas para brocas de metal duro.

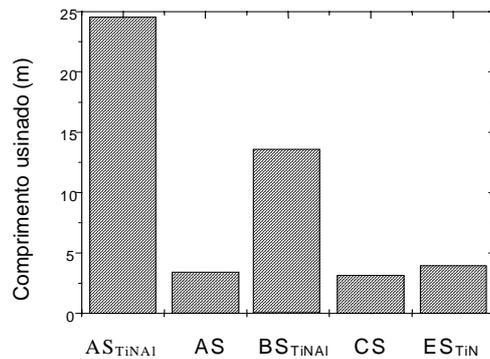
Para a realização das medidas dos diâmetros dos furos foi utilizado um calibre pneumático, que determina a distância entre dois pontos diametralmente opostos da parede

dos furos. Foram tomados o maior e o menor valor de medidas realizadas nas seções de entrada, intermediária e de saída dos furos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Vida das ferramentas

A Figura 2 mostra os valores de comprimento usinado durante a vida das ferramentas.



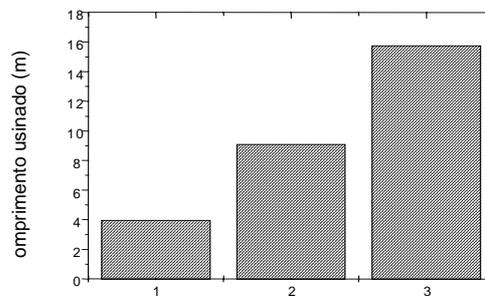
$v_c = 110 \text{ m/min}$ - $f = 0,25 \text{ mm/volta}$

Figura 2 – Comprimento usinado ao longo da vida das ferramentas testadas

A figura 2 mostra que, nas condições de corte adotadas, as ferramentas AS_{TiAl} e BS_{TiAl}, dotadas de revestimento de TiAlN, apresentaram vidas superiores àquelas apresentadas pelas ferramentas AS e CS, que não possuem revestimento e pela ferramenta ES_{TiN}, que possui revestimento de TiN. Esse resultado confirma o melhor comportamento de ferramentas revestidas com TiAlN em relação às ferramentas não revestidas encontrado por Cselle (1997). A comparação dos resultados obtidos pelas ferramentas AS e AS_{TiAl}, cuja diferença única é o revestimento de TiAlN, mostra a eficiência deste revestimento. Estes resultados concordam com os apresentados por Cselle (1997).

O baixo rendimento da ferramenta ES_{TiN}, revestida com TiN, pode ter sido consequência do fato das condições de corte adotadas, em especial o avanço (de 0.25 mm/volta), não pertencer à faixa ótima indicada para a ferramenta (0.55 mm/volta \pm 20%), de acordo com o fabricante. A vida da ferramenta tem aumento significativo quando a usinagem ocorre na faixa de avanços indicada, conforme mostra a figura 5.

Os valores de vida de ferramenta verificados mostram que o avanço é uma grandeza fundamental na determinação da vida da ferramenta, portanto os resultados obtidos nesta investigação devem estar fortemente associados ao valor do avanço utilizado nos testes.



(1) - $f = 0,25 \text{ mm/volta}$ (2) - $f = 0,41 \text{ mm/volta}$ (3) - $f = 0,55 \text{ mm/volta}$

Figura 3 – Influência do avanço na determinação da vida da ferramenta. ES_{TiN} $v_c = 110 \text{ m/min}$.

3.2 Evolução do desgaste ao longo da vida das ferramentas

A figura 4 mostra a evolução do desgaste ao longo da vida das. Na figura 4 (A) tem-se que a curva que representa o comportamento da ferramenta AS_{TiAlN} mostra uma taxa de desgaste praticamente nula ao longo de toda a vida da ferramenta. A ferramenta BS_{TiAlN} apresenta taxa de desgaste nula nos furos iniciais para então adquirir uma taxa elevada, praticamente constante. As boas propriedades térmicas e mecânicas do revestimento de TiAlN fazem com que o desgaste da ferramenta seja praticamente nulo, enquanto o revestimento mantiver a sua integridade (Cselle, 1997). O desgaste das ferramentas passa a ser observado a partir do momento em que ocorre a remoção da camada de revestimento, na região da superfície de folga, em forma de pequenas lascas. O desgaste de flanco evolui a partir desses pequenos lascamentos.

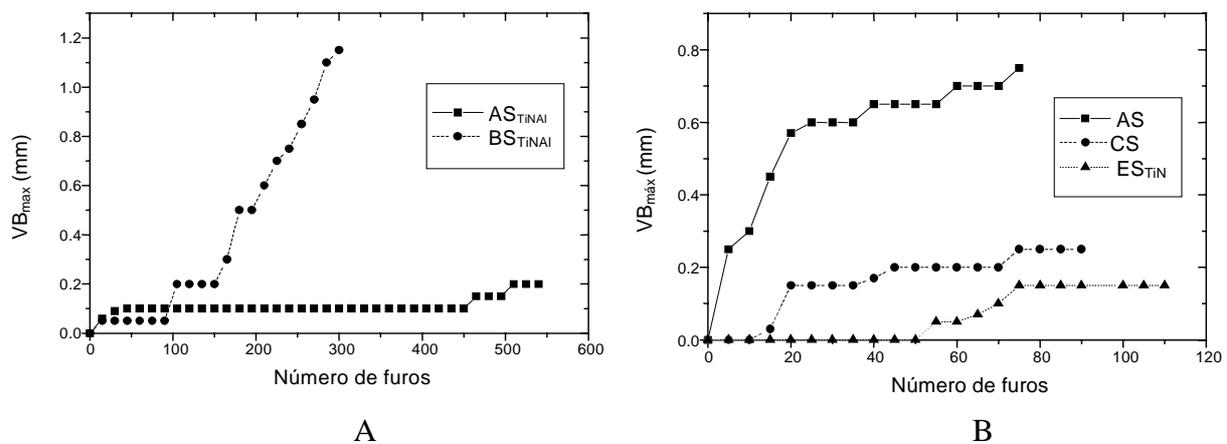


Figura 4 – Desgaste de flanco máximo ao longo da vida das ferramentas

A Figura 4 (B) mostra a evolução do desgaste de flanco das ferramentas não revestidas e da revestida com TiN. A curva referente à broca AS mostra que o comportamento do desgaste apresenta duas fases distintas. A taxa de desgaste é elevada no início da vida da ferramenta, diminuindo em seguida. A ferramenta CS, não apresenta estas fases de desgaste de forma tão evidente, com crescimento contínuo. Nos furos iniciais o desgaste é praticamente nulo, sobe de forma significativa entre os furos de número 15 e 20, permanece praticamente constante até sofrer nova elevação nos furos finais. A curva representativa do comportamento da ferramenta ES_{TiN} mostra que o desgaste da ferramenta é nulo durante quase a metade da vida da ferramenta, aumenta de forma rápida até atingir um valor próximo a 0,15 mm e permanece constante até a ocorrência de falha catastrófica. O desgaste imperceptível na etapa inicial deve-se à ação do revestimento, que oferece boa resistência ao desgaste. A partir do momento em que começam a ocorrer lascamentos no revestimento, o material de base da broca passa a contribuir com a taxa de desgaste, modificando o comportamento da curva.

As ferramentas AS_{TiAlN} , CS e ES_{TiN} atingem fim de vida sem que seja verificado desgaste de flanco excessivo na execução dos furos finais, como mostram os gráficos da figura 4. O desenvolvimento do desgaste na superfície de folga (VB_{Bmax}) observado para estas ferramentas não ocorria exclusivamente na direção perpendicular à aresta de corte, mas mais acentuadamente, na direção paralela à aresta, como ilustra a Figura 5. Desta maneira a área de desgaste aumentava sem aumentar VB_B e VB_{Bmax} , parâmetros controlados durante os testes.

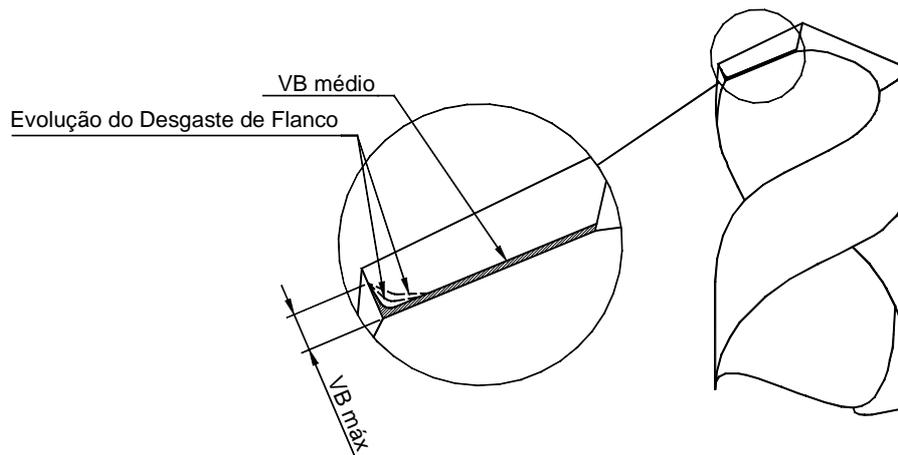


Figura 5 – Evolução do desgaste de flanco nas ferramentas que atingiram fim de vida sem apresentar elevação do desgaste de flanco máximo.

3.3 - Qualidade dimensional dos furos

A Figura 6 mostra os valores mínimo e máximo dos diâmetros dos furos realizados pelas ferramentas estudadas ao longo de suas vidas.

Observa-se que as dimensões dos furos executados tendem a sofrer queda ao longo da vida das ferramentas. Os furos executados pela ferramenta AS_{TiNAI} apresentam maior estabilidade dimensional comparada às demais ferramentas, o que pode ser constatado pela menor inclinação das curvas, principalmente as referentes à entrada dos furos. A diferença entre o menor e o maior diâmetro medido para os furos ao longo da vida das ferramentas tende a se alterar pouco, exceto em situações isoladas como na saída dos furos executados pela ferramenta BS_{TiNAI} . Os furos gerados pelas ferramentas sem revestimento tendem a apresentar maiores diferenças entre os valores mínimos e máximos de diâmetro, o que evidenciado pela maior distância entre as curvas correspondentes ao maior e ao menor diâmetro. A ferramenta BS_{TiNAI} apresenta sobremedidas de maior valor em relação às demais (entre 70 e 100 μm , no início da vida da ferramenta, ao passo que as demais apresentam sobremedida inferior a 50 μm). A tabela 3 mostra os valores médios das diferenças entre as medidas máxima e mínima dos diâmetros em cada seção e a máxima diferença entre as três seções.

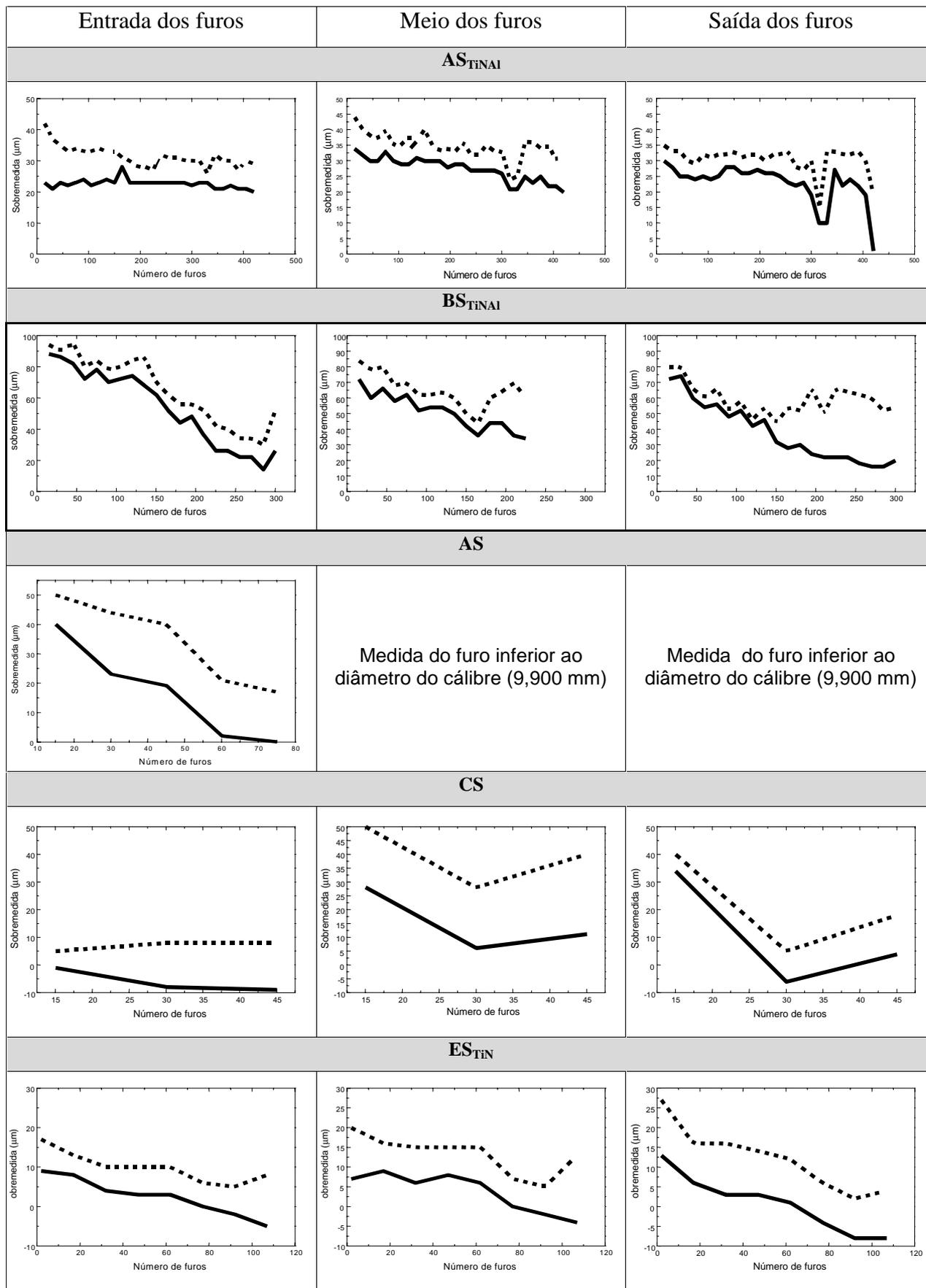


Figura 6– Comportamento das dimensões mínimas e máximas dos furos ao longo da vida das ferramentas

Tabela 3 - Diferenças entre as medidas máximas e mínimas para os furos executados

Ferramenta	Diferenças entre o maior e o menor diâmetro, medido em cada seção (μm)						Diferenças entre a maior e a menor medida dos diâmetros nas três seções (μm)	
	Entrada do furo		Meio do furo		Saída do furo		Média	Desvio padrão
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão		
AS_{TiAlN}	8,6	3,7	7,3	2,8	7,0	2,9	13,1	3,6
AS	19,6	6,8	*	*	*	*	-	-
BS_{TiAlN}	11,7	5,1	14,1	7,4	21,6	15,7	35,5	11,0
CS	12,3	4,0	24,3	3,3	10,3	3,3	*	-
ES_{TiN}	7,4	2,3	9,5	3,4	11,4	1,4	13,6	3,3

* diâmetro do furo superior ao fundo de escala do calibre (100 μm)

A Tabela 4 mostra a qualidade IT dos furos gerados pelas ferramentas estudadas, com base nos valores máximos e mínimos dos furos, considerando medidas realizadas na entrada, no meio e na saída dos furos.

Tabela 4 – Qualidade IT dos furos obtidos (diâmetro nominal: 10 mm)

	Ferramentas				
	AS_{TiAlN}	AS	BS_{TiAlN}	CS	ES_{TiN}
Qualidade IT	7	-	9	-	7

A melhor qualidade dos furos produzidos pela ferramenta AS_{TiAlN} , que difere da AS apenas pela presença do revestimento de TiAlN, permitem afirmar que o revestimento contribui para a qualidade dimensional dos furos. A ferramenta BS_{TiAlN} apresenta qualidade de furo inferior à apresentada pelas ferramentas AS_{TiAlN} e ES_{TiN} devido aos maiores ângulos de hélice e de ponta da ferramenta BS_{TiAlN} , que contribuem para o aumento da potência consumida, como mostra o gráfico da figura 8. Os maior valor de potência consumida implica em maiores componentes de força e maior vibração, maior geração de calor, fatores que prejudicam a qualidade dimensional dos furos.

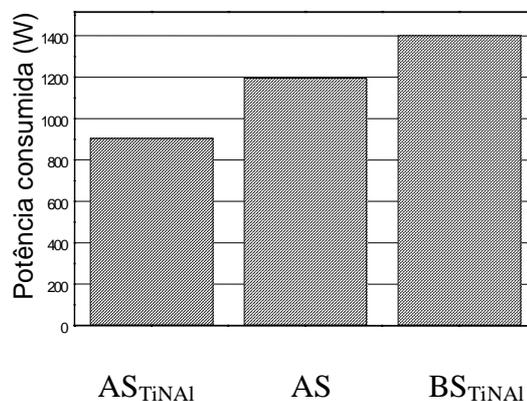


Figura 8 – Potência efetiva de corte das ferramentas AS_{TiAlN} , AS e BS_{TiAlN}

A Figura 8 permite ainda observar a influência do revestimento de TiAlN no consumo de potência. As ferramentas AS_{TiAlN} e AS possuem a mesma geometria, o que confirma a eficiência do revestimento em reduzir o atrito e a potência consumida.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que

- ◆ As curvas de evolução do desgaste apresentaram taxas de crescimento variáveis ao longo da vida das ferramentas
- ◆ A ferramenta AS_{TiAlN} foi a que apresentou melhores resultados, tanto nos ensaios de vida, quanto na qualidade dimensional dos furos.
- ◆ O aumento do avanço adotado na usinagem com a ferramenta ES_{TiN} de 0,25 para 0,55 mm/volta resultou em um aumento de quatro vezes no comprimento usinado (de aproximadamente 4m para 16 m), o que torna os resultados obtidos fortemente relacionados ao avanço adotado.
- ◆ O revestimento aplicado às brocas de metal duro integral, proporcionou melhores resultados nos ensaios de vida e na qualidade dimensional dos furos gerados, em relação às ferramentas não revestidas.
- ◆ A dimensão dos furos apresentou tendência de sofrer redução ao longo da vida das ferramentas. Esta tendência foi menos acentuada nos furos gerados pela ferramenta AS_{TiAlN}.
- ◆ O revestimento de TiAlN contribuiu para a redução da potência efetiva de corte.
- ◆ A potência efetiva de corte apresentou relação com a geometria da ferramenta, aumentando com o aumento do ângulo de ponta e de hélice.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ◆ Cselle, T. “Seleção e Aplicação de Brocas de Materiais Duros”. Guhing Brasil Ferramentas Ltda. São Paulo 1997, 85 pag.
- ◆ NT MECH 038 “Cutting Fluids for Drilling: Evaluation by Drill Life Test” – published by NORDTEST , 1997.
- ◆ Tönshoff, H. K., Spintig, W., König, Neises, A. “Machining of Holes – Developments in Drilling Technology” Annals of the CIRP vol. 43, 1994. Pp. 551-561.

DRILLING OF GREY CAST IRON WITH SOLID CARBIDE DRILLS

Abstract: *This work has the purpose of evaluating the behavior of five different types of solid carbide drills, produced by four different tools manufactures when machining gray cast iron. Although it is considered an ease-to-machine material, its use is justified by its large application in the industry, mainly in the automotive. The drills present differences in geometry and in the presence of coatings. The performance of the tools is evaluated based on tool life and dimensional quality of the holes. The presence of the TiAlN coating, improved the drill life and therefore responsible for the best results.*

Key words: *Drilling, Cast Iron, Solid Carbide Drills, Coated Solid Carbide Drills.*