

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA NA FURAÇÃO DE FERRO FUNDIDO VERMICULAR CGI 500

Fábio Rüstow de Paula

Álison Rocha Machado

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) R. Imaculada Conceição, 1155 - Prado Velho, Curitiba - PR, 80215-901
fabio.rustow@pucpr.edu.br, alisson.rocha@pucpr.br

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Universidade Federal de Uberlândia (UFU) Av. João Naves de Ávila, 2121 - Santa Mônica, Uberlândia - MG, 38408-100
leorrs@ufu.br

Neider Oliveira Soares

Gühring Brasil Av. Tranquillo Giannini, 1051 - Distrito Industrial, Salto - SP, 13329-600
neider.soares@guh-ring-brasil.com

Renan Ednan Flores

Tupy S.A. R. Albano Schmidt, 3400 - Zona Industrial Tupy, Joinville - SC, 89205-100
renan.flores@tupy.com.br

Resumo: As propriedades mecânicas superiores do ferro fundido vermicular (CGI) frente ao ferro fundido cinzento tornam seu emprego para fabricação de alguns componentes muito interessante, principalmente em blocos de motores a combustão, onde clientes buscam constantemente por motores com maior eficiência. Entretanto, sua menor usinabilidade implica em desafios na linha de produção. Na tentativa de aumentar a produtividade é natural que parâmetros de corte sejam otimizados, no entanto o aumento da velocidade de corte e/ou avanço podem propiciar o aumento da temperatura durante o processo. Contudo, se o aumento de temperatura for excessivo pode resultar em mudanças metalúrgicas do material, assim como menor vida e possível falha catastrófica da ferramenta de corte. Entre outras atribuições do revestimento cerâmico, este deve proteger a ferramenta de corte de altas temperaturas e atenuar a temperatura durante o processo. Sendo assim, neste estudo foi investigado a influência dos parâmetros de corte e o desgaste de flanco da ferramenta de corte na temperatura atingida no processo de furação, inclusive a temperatura ao longo do furo. Para tanto foram utilizadas brocas de metal duro com três diferentes revestimentos (TiN + TiAlN, TiSiN + TiAlN e TiAlSiN) na furação a seco do CGI 500, e por meio de planejamento fatorial (2^K) definido os parâmetros de corte utilizados, considerando condições de corte brandas e severas. Em alguns testes, brocas sem revestimentos também foram usadas para comparação. Utilizando termopares tipo (T) em três posições de medição ao longo do furo, a posição intermediária foi a que atingiu maior temperatura. Entre as condições testadas, com a broca no estado de nova, a condição que possui a maior velocidade de corte e avanço foi a que desenvolveu a menor temperatura na peça, e o desgaste de flanco influência na temperatura, principalmente em níveis mais avançados de desgaste. No estado de novas, é possível identificar que as brocas revestidas tiveram temperaturas menores quando comparadas as brocas sem revestimento.

Palavras-chave: Temperatura da peça; Furação; Parâmetros de corte; Ferramentas revestidas; Desgaste da ferramenta

1. INTRODUÇÃO

As propriedades mecânicas superiores do ferro fundido vermicular (CGI) frente ao ferro fundido cinzento tornam seu emprego para fabricação de alguns componentes muito interessante, principalmente em blocos de motores a combustão, onde clientes buscam constantemente por motores com maior eficiência. Entretanto sua pior usinabilidade implica em desafios na linha de produção. A usinabilidade do CGI é dependente das propriedades mecânicas do material, e estas são altamente relacionadas a morfologia da grafita e microestrutura do material (de Souza *et al.*, 2018). Em particular, a grafita é um elemento de baixa dureza quando comparado a outros elementos presentes no ferro fundido, no entanto, a morfologia vermicular da grafita do CGI lhe propicia uma forte ancoragem na matriz metálica, o que influencia em suas propriedades mecânicas e reduz a clivagem ou propagação de trincas no material durante a usinagem (de Souza *et al.*, 2018).

Segundo Liu *et al.* (2018), o aumento da quantidade de grafitas em forma de vermes e a maior interconectividade entre elas propiciam maior condutividade térmica para temperaturas até 473°K, mas em temperaturas superiores a

condutividade diminui. Ainda nesse estudo foram realizados ensaios de tração em temperaturas elevadas, e os resultados mostram que a resistência a tração diminui acentuadamente quando a temperatura chega a 550°K.

Em torno de 90% da energia mecânica gerado pela ação da ferramenta de corte sob o material é transformada em calor, e este calor, normalmente, é gerado na zona primária de cisalhamento (ou plano de cisalhamento primário) pela deformação do material, com início da formação do cavaco; na zona de cisalhamento secundária (contato do cavaco com a superfície de saída da ferramenta de corte) sendo o calor gerado pela deformação plástica do cavaco e atrito com a superfície da ferramenta de corte; e na zona terciária (região de contato entre peça e a superfície de folga da ferramenta) no qual o calor é gerado pelo atrito entre o material e a região desgastada da superfície de folga da ferramenta de corte (Martínez *et al.*, 2022; da Silva *et al.*, 2018).

Leônidas *et al.* (2022) destacam que é imprescindível saber a faixa de temperatura esperada, o tempo de resposta do sensor às mudanças de temperatura, a sensibilidade do sensor e o custo, entre outros fatores, para definir o método ou equipamento mais adequado para a medição da temperatura na usinagem. Contudo, a medição de temperatura pode ser feita por métodos com contato, por exemplo termopar, ou por método sem contato, por exemplo câmera térmica, pirômetro de fibra ótica ou pirômetro de infravermelhos. Leônidas *et al.* (2022) destacam que o uso de termopares padrões é um método barato, entretanto seu tempo de resposta pode ser insuficiente para mudanças rápidas de temperatura, por outro lado, os termômetros infravermelhos de fibra ótica possuem tempo de resposta mais rápido, mas são relativamente mais caros quando comparado ao método de termopar e requerem uma implementação mais robusta. Os autores ainda concluem que nenhum método é ideal para todas as operações de usinagem.

Atualmente a medição de temperatura, normalmente, é feita pelos métodos de termopar, câmera infravermelho e por simulação numérica, contudo, entre esses métodos de medição, cada um deles tem suas vantagens e desvantagens. Martínez *et al.* (2022) compararam o método termopar ferramenta peça com o método de simulação numérica na medição de temperatura atingida na região de cisalhamento secundário, na superfície de saída da ferramenta de corte. Os resultados mostraram que o erro relativo entre os métodos é inferior a 6%.

Durante a usinagem de CGI temperaturas máximas na ordem de 600 a 900°C são esperados na superfície da ferramenta de corte em processos de fresamento a 200 m/min e avanço de 0,15 mm/rev (Malakizadi *et al.*, 2018).

Durante processo de usinagem contínua, torneamento, de CGI 450 a temperatura também atinge valores consideráveis, e isso foi constatado no estudo de da Silva (2015). Neste estudo foram testados insertos de metal duro ora revestidos com nitreto de silício (Si_3N_4) e ora revestidos com alumina (Al_2O_3), em velocidades de corte de 300, 400 e 500 m/min, profundidade de corte 0,5 mm e avanço 0,2 mm. Os resultados mostraram que a temperatura atingiu, respectivamente, valores de 800°C, 800°C e 900°C para os insertos revestidos de nitreto de silício e 850°C, 850°C, e 900°C para os insertos revestidos de alumina.

Utilizando uma câmera térmica FLIR A325, dos Reis (2019), em ensaio de fresamento frontal a seco de CGI 450, constatou que o aumento da velocidade de corte de 230 m/min e avanço de 0,1 mm/dente para 350 m/min e avanço de 0,2 mm/dente teve uma leve contribuição para aumentar a temperatura. Ou seja, o aumento combinado de velocidade de corte e avanço pode não significar efetivamente uma condição muito severa de usinagem.

Entretanto, da Silva *et al.* (2018) avaliaram separadamente a contribuição destes parâmetros de usinagem, velocidade de corte e avanço, na temperatura do processo de usinagem de CGI. Os resultados mostraram que o aumento da velocidade de corte contribui significativamente para o aumento da temperatura do processo, no entanto o avanço apresentou menor influência, mas os autores ressaltam que o avanço pode ter influência mais significativa na temperatura na interface ferramenta-peça. Os autores ainda comentam que ao utilizar parâmetros de corte no qual o cavaco tenha maior volume, isso faz com que a temperatura oscile, uma vez que esse cavaco mais espesso vai dissipar mais energia no seu desprendimento, e assim reduzir a energia térmica na interface de corte.

O aumento de temperatura durante o processo é benéfico para o processo de cisalhamento, pois reduz a resistência do material da peça e as tensões ali desenvolvidas, embora, quando muito elevadas podem promover alterações superficiais do material que está sendo usinado. O lado negativo de operar com temperaturas elevadas é que pode levar ao amolecimento da ferramenta, assim como possibilitar a ocorrência de difusão com o material que está sendo usinado e contribuir para o desgaste de suas superfícies e aresta de corte, mitigando a vida da ferramenta e/ou levando-a ao colapso. Sendo assim, a temperatura pode ser fator determinante para estabelecer os parâmetros de corte, principalmente a velocidade de corte e o avanço (dos Reis, 2019).

Para atenuar a ação da temperatura sobre o substrato da ferramenta, revestimentos cerâmicos podem ser depositados na superfície das ferramentas por uma camada única ou multicamadas. Normalmente, esses revestimentos são produzidos por processo de deposição física de vapor (PVD) e/ou deposição química de vapor (CVD). Os revestimentos da ferramenta de corte protegem o substrato da ação de altas temperaturas e de partículas abrasivas que podem estar presentes no material a ser usinado, pois possuem alta dureza e baixa rugosidade superficial, contribuindo para reduzir o atrito do material sobre as superfícies da ferramenta e aumentar a vida da ferramenta de corte (Zhao *et al.*, 2021).

Hao *et al.* (2019) identificaram a redução do coeficiente de atrito (COF) de 0,75 para 0,63 em temperatura de 800°C durante a usinagem do aço AISI H13 ao substituírem a ferramenta sem revestimento por ferramentas revestidas com TiAlN. Esta redução do COF também é atribuída a redução do comprimento de contato entre cavaco e ferramenta. A menor rugosidade da superfície de saída da ferramenta revestida contribuiu para que o valor estável de COF fosse atingido em menor tempo.

Neste trabalho é feito um estudo do comportamento da temperatura de usinagem no processo de furação de ferro fundido vermicular, com brocas com diferentes tipos de revestimentos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na Figura 1 são mostradas as brocas utilizadas neste estudo. Foram utilizadas brocas de metal duro, diâmetro 8mm, nanoestruturadas e com geometria diferenciada, conforme mostra a Figura 2. Foi avaliado o comportamento dos revestimentos multicamadas Fire (TiN+TiAlN), Endurum (TiSiN+TiAlN) e Signum (TiAlSiN) na vida de ferramentas fabricadas pela Gühring, em ensaios de furação feitos em barras retangulares de ferro fundido vermicular (CGI 500). Brocas sem revestimento também foram utilizadas para comparação. Os revestimentos citados foram produzidos por processo PVD.

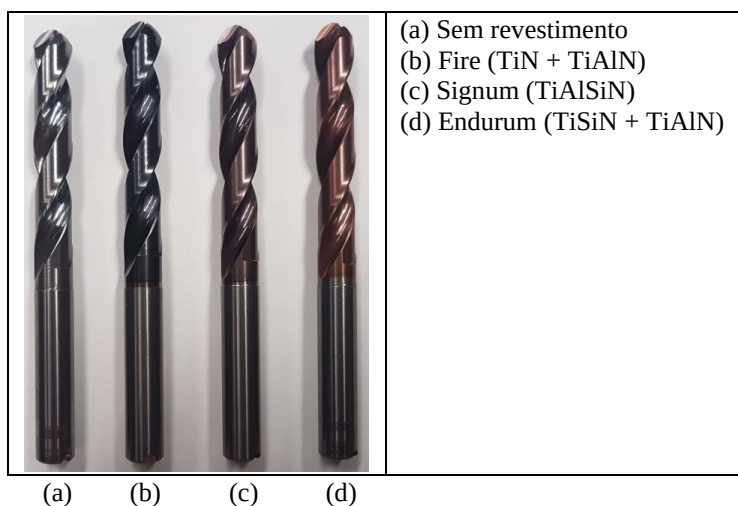


Figura 1. Brocas revestidas e não revestida com geometria diferenciada.

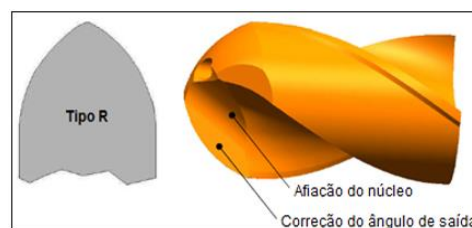


Figura 2. Afiação da aresta principal do tipo (R)
Fonte: Catálogo técnico Gühring (2022).

Na Tabela 1 são apresentadas as características do ferro fundido vermicular utilizado neste estudo.

Tabela 1 – Caracterização do ferro fundido vermicular CGI 500	
Resistência à Tração (MPa)	545
Dureza (HB)	258
Forma da grafita (Tipo)	III e VI
Grafita em forma de nódulos (%)	14
Percentual de perlita (%)	99
Espessura das lamelas de cementita (µm)	0,179
Espaçamento entre as lamelas de cementita (µm)	0,299

Previamente ao ensaio, as superfícies superior e inferior das barras de CGI 500 foram faceadas, ficando com dimensões de 390x240x45 mm. Uma barra grande de CGI foi utilizada para fabricar pequenas barras de CGI com dimensões de 25x110x45 mm. Para os ensaios, as barras de CGI 500 foram fixadas diretamente na mesa da máquina com uso de lexas de fixação, garantindo boa rigidez do conjunto. Os ensaios foram realizados em centro de usinagem CNC, modelo Arrow 500 – Cincinnati Milacron, rotação máxima de 6000 rpm e 7,5 kW de potência no motor principal, com uso de mandril hidráulico GM300 SK-40 D8 – Gühring para fixação da broca.

Os ensaios foram realizados durante testes de vida das ferramentas e tiveram a seguinte rotina, a cada 25 furos feitos na barra grande de CGI (para evolução do desgaste), um furo era feito na barra pequena de CGI (para medição da temperatura). Nesse instante, o ensaio era pausado para medição de desgaste da ferramenta de corte. Caso o critério de fim-de-vida da ferramenta adotado não tenha sido atingido, a ferramenta voltava para a máquina para mais uma sequência de 26 furos. Os critérios de fim-de-vida da ferramenta adotados foram desgaste de flanco $VB_{B \text{ máx}}$ de 0,3mm; 469 furos ou ruído excessivo com eminência de colapso, o que ocorrer primeiro. O desgaste da ferramenta de corte foi medido em estereó microscópio Zeiss, modelo Discovery V12. A Figura 3 mostra as barras, grande e pequena, fixadas na mesa do

centro de usinagem e à plataforma piezoelétrica, respectivamente. A barra pequena de CGI está fixada na plataforma piezoelétrica para acompanhamento do comportamento das componentes de força de usinagem, que não serão abordados neste artigo.



Figura 3. Barras de CGI fixadas na mesa do centro de usinagem.

Nesta barra pequena de CGI foram fixados 3 termopares tipo (T) em sua face frontal, a uma distância de 5, 10 e 15 mm de distância em relação a superfície superior da barra, e para auxiliar no posicionamento dos termopares, foram traçadas linhas para identificar a posição correta para fixá-los, como mostra a Figura 4. Sendo assim, com o auxílio de um aparelho de aquisição de dados, modelo 34970A – Agilent, para cada termopar colado na peça foram feitas aquisições na frequência de 6 valores por segundo para monitorar a temperatura desenvolvida em função dos parâmetros de corte testados e da profundidade do furo, entre as três posições estipuladas, considerando os maiores valores de temperatura atingidos. Os cabos dos termopares tinham diâmetro de 0,25 mm e isolamento de poliamida para média e baixa temperatura (de - 240 a + 260 °C).



Figura 4. Barra pequena de CGI usada para medição de temperatura.

Na Figura 4 é possível ver que foram feitos canais de 0,5 mm por eletroerosão a fio WEDM (Charmilles CNC Robofil 290). Estes canais foram feitos com o objetivo de isolar termicamente um teste do outro, ou seja, para que um furo realizado em um teste não influencie na medição do próximo teste, e ainda ter o mesmo volume de material para dissipação do calor gerado. Os furos foram feitos com a mesma profundidade que os furos feitos na barra grande de CGI, e a uma distância de 0,5 mm da superfície frontal.

A respeito do termopar é importante salientar que o comprimento da região do termopar que está sem revestimento, identificado na Fig. 5, deve ser o mais constante possível, pois a variação deste comprimento sem revestimento influencia significativamente nas medições, sendo que neste estudo a região sem revestimento foi de 5 mm.



Figura 5. Região do termopar sem revestimento.

As brocas possuem canais de refrigeração interna, no entanto os ensaios foram realizados a seco. Os furos foram feitos com profundidade de 17,5 mm e equidistantes entre si, sendo 10 mm a distância de centro a centro dos furos.

Para avaliar o comportamento dos revestimentos perante a temperatura desenvolvida ao longo dos ensaios de vida da ferramenta, no processo de furação, e estabelecer os parâmetros de corte para cada ensaio, foi utilizado um planejamento fatorial b^k , onde (k) é o número de variáveis de entrada a serem consideradas, que nesse caso é igual a 3, e (b) o número de níveis a serem testadas, neste caso 2. Das três variáveis de entrada, duas são quantitativas (avanço e velocidade de corte) e uma qualitativa (revestimento da broca). No caso do revestimento, são quatro níveis para esta variável (sem revestimento, TiN + TiAlN, TiSiN + TiAlN e TiAlSiN), sendo assim, dois planejamentos 2^3 são necessários, conforme Tab. 2, que também mostra os níveis para as variáveis. Este planejamento foi utilizado para permitir análises estatísticas dos resultados.

Tabela 2 – Variáveis e seus níveis

Planejamento 01		Nível	
Variáveis		(-)	(+)
Velocidade de corte (m/mín.)	X ₁	100	150
Avanço (mm/rev.)	X ₂	0,2	0,35
Revestimento	X ₃	Sem revestimento	TiN + TiAlN

Planejamento 02		Nível	
Variáveis		(-)	(+)
Velocidade de corte (m/mín.)	X ₁	100	150
Avanço (mm/rev.)	X ₂	0,2	0,35
Revestimento	X ₃	TiSiN+TiAlN	TiAlSiN

Desta forma é possível preparar o planejamento dos ensaios, com combinações dos níveis das variáveis, resultando em 8 condições de ensaio em cada planejamento, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Planejamento fatorial 2^3 para os planejamentos 1 e 2

Ensaios / Condições	Variáveis		
	X ₁	X ₂	X ₃
1 / (C1)	+	+	+
2 / (C2)	-	+	+
3 / (C3)	+	-	+
4 / (C4)	-	-	+
5 / (C1)	+	+	-
6 / (C2)	-	+	-
7 / (C3)	+	-	-
8 / (C4)	-	-	-

Como mostrado na Tab. 3, cada revestimento (X₃) foi testado em quatro condições (C1, C2, C3 e C4), e para estabelecer confiabilidade estatística dos resultados, cada ensaio foi replicado três vezes, totalizando assim, 24 ensaios (8x3) em cada planejamento. Como são dois planejamentos, como mostra a Tab. 2, deveriam ser desenvolvidos 48 ensaios de vida. Entretanto, como o número de brocas sem revestimento disponíveis era de apenas 4 brocas, esta foi testada uma única vez em cada condição, resultando assim em 40 ensaios

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados mostraram diferentes temperaturas em diferentes profundidades do furo, causadas pelo aquecimento da ferramenta ao longo da furação, de possíveis desgastes da ferramenta ao longo do furo, e do tempo de contato entre as arestas da broca, principal e secundária, com o material que está sendo usinado.

Os valores médios de temperaturas observados em todos os testes (durante toda a vida das ferramentas), em cada termopar, para cada tipo de revestimento são apresentados na Figura 6. Observa-se que a menor temperatura foi identificada no termopar que está a 15 mm de profundidade em relação a face superior da barra de CGI 500. Este resultado, provavelmente, é devido ao menor tempo de contato da parede do furo com a aresta secundária da broca. Até que a profundidade total do furo seja atingida, nas posições de 5 e 10 mm a aresta secundária permanesse mais tempo em contato com o material, portanto temperaturas maiores são atingidas. Seguindo esta linha de raciocínio, o maior tempo de contato entre as arestas da broca e o material é para a profundidade de 5 mm, entretanto, as maiores temperaturas foram observadas para a profundidade de 10 mm. Isto é justificado por esta posição estar mais próximo à superfície superior da barra, onde a atmosfera contribui para redução da temperatura.

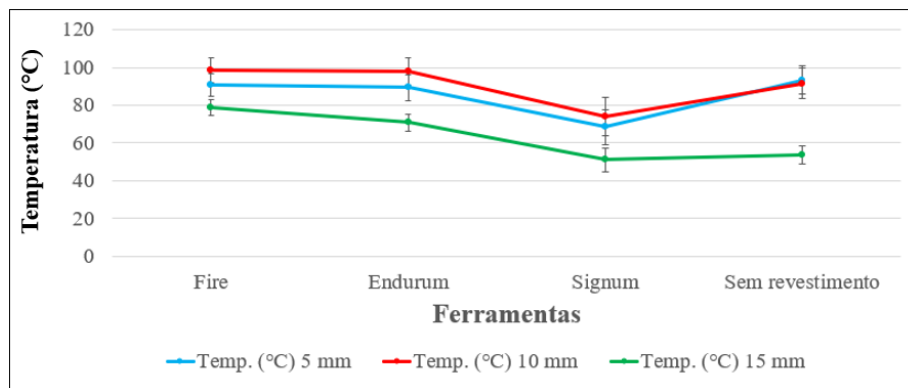


Figura 6. Média de temperatura atingida em todos os furos e para todas as condições testadas.

Visto que para a profundidade de furo de 10 mm as temperaturas médias atingidas foram maiores, esta posição de medição foi utilizada para avaliações da temperatura em função do revestimento da broca, dos parâmetros de corte e do desgaste da ferramenta de corte. Essas comparações são apresentadas na Figura 7.

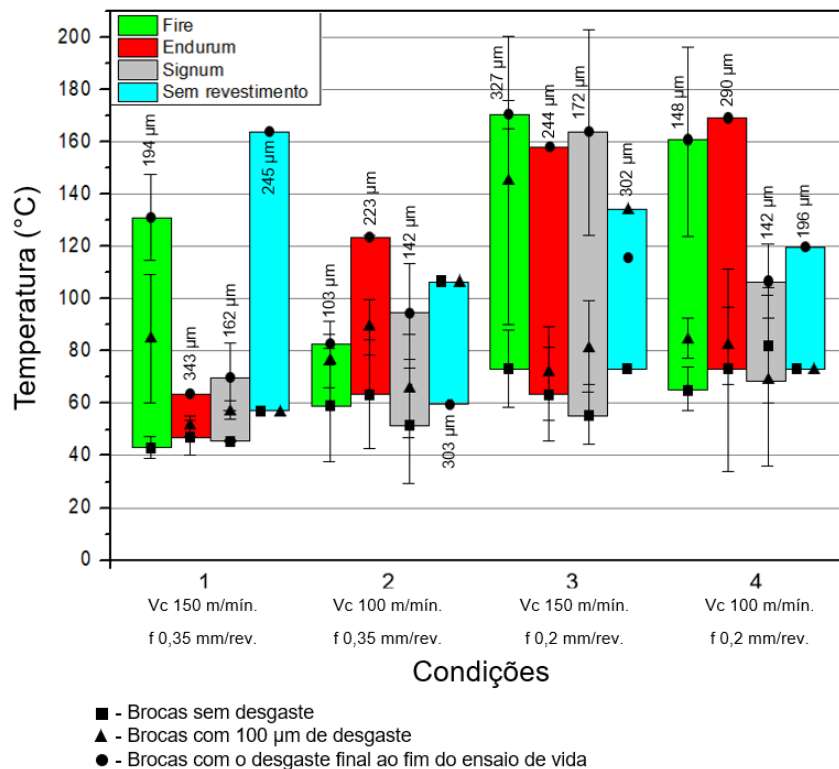


Figura 7. Influência do desgaste e dos parâmetros de corte na temperatura da peça medida a 10 mm da borda do furo, quando utilizando os diferentes tipos de revestimentos.

Em razão das brocas sem revestimento terem sido testadas uma única vez em cada condição, estas não apresentam barras de dispersão. Outro ponto que ficou sem barra de dispersão é o desgaste final da broca com revestimento endurecido, indicado com círculo, pois, entre as réplicas, os testes não alcançaram a mesma quantidade de furos ou de desgaste, portanto não sendo possível comparar a temperatura.

Acima das barras foram colocados os valores de desgaste $VB_{B\text{ máx.}}$ atingidos nestes testes, para aqueles onde o valor é inferior a 300 μm , é porque o critério de número máximo de furos estipulado, 469 furos, foi atingido antes do critério baseado no valor de desgaste ($VB_{B\text{ máx.}}$ de 300 μm).

Em uma análise global do gráfico apresentado na Fig. 7 é possível observar que no estado de novas, para todas os parâmetros testados (condições 1, 2, 3 e 4), as brocas revestidas e não revestidas tiveram temperaturas próximas, com variações inferiores a 30°C, no entanto, na maioria dos ensaios as revestidas tiveram temperaturas inferiores às das não revestidas. Observa-se ainda que os revestimentos tiveram pouca influência nas temperaturas embora, no início dos testes (brocas sem desgastes), os revestimentos fire e signum tendem a apresentar menores temperaturas.

Outra situação que é possível identificar, ainda numa visão global do gráfico, é que na maioria dos ensaios o desgaste de flanco de 100 μm é pouco influente na temperatura, entretanto no fim de vida das ferramentas, já com estágios de desgaste de flanco mais avançados, é notório a influência do desgaste na elevação da temperatura.

Com relação à influência dos parâmetros de corte na temperatura, comparando as condições (1) e (2), em que ambas possuem o mesmo avanço, mas a condição (2) tem menor velocidade de corte, é visto que com a broca no estado de nova, ou seja, sem influência do desgaste, há uma pequena elevação da temperatura, e uma influência significativa do desgaste na temperatura ao fim dos ensaios.

Agora comparando as condições (1) e (3), a velocidade de corte é a mesma, mas na condição (3) o avanço é reduzido, e a broca ainda no estado de nova é possível notar o aumento da temperatura, o que fica mais intenso com a influência do desgaste. Sendo assim, constata-se que a redução do avanço influi na temperatura, o que pode ser justificado pelo aumento do tempo efetivo de usinagem e pelo aumento de tempo de contato entre as superfícies da broca com o material.

A condição (4) tem o menor valor de avanço e velocidade de corte, entretanto isso não reduziu a temperatura, pelo contrário, com a broca ainda no estado de nova é notório que a temperatura é mais elevada nesta condição, quando comparadas à condição (1) que tem maiores velocidade de corte e avanço. Sendo assim, entende-se que utilizar parâmetros muito brandos não significa efetivamente condições menos agressivas de usinagem, ao se considerar a temperatura da peça usinada. A condição (1), mesmo possuindo os maiores valores de velocidade de corte e avanço, com a broca no estado de nova, foi a condição que desenvolveu a menor temperatura para as brocas revestidas.

4. CONCLUSÕES

Baseado na análise dos resultados obtidos neste estudo é possível concluir que:

- Para as profundidades de furos testadas, a maior temperatura identificada foi na profundidade de 10 mm em relação a face superior do material, região intermediária entre o começo e o fim do furo.
- O desgaste de flanco de até 100 μm , na maioria dos casos, é pouco influente na temperatura atingida durante o processo de furação de CGI 500;
- Desgaste de flanco elevado, maiores que 100 μm , promove aumento significativos de temperatura durante a usinagem;
- No estado de broca nova, a condição (3) promoveu maiores valores de temperatura que a condição (1);
- A condição (4), mesmo tendo os menores valores de velocidade de corte e avanço, não foi a condição que teve menor temperatura com a broca no estado de nova, portanto, utilizar parâmetros de corte muito brandos não significa efetivamente promover uma condição menos agressiva de usinagem;
- A condição (1) tem os maiores valores de velocidade de corte e avanço, entretanto foi a condição que teve o menor valor de temperatura com a broca no estado de nova;
- Na maioria dos testes as ferramentas revestidas atingiram temperatura inferior as ferramentas não revestidas;
- Não ficou evidente uma diferença no valor da temperatura em função dos revestimentos testados, análises das características dos revestimentos, rugosidade superficial da superfície de saída da broca e análise tribológica possam ser pertinentes para alcançar este objetivo.

5. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa somente foi possível graças ao apoio da Gühring pelo fornecimento das brocas, da Tupy S.A. pelo fornecimento das barras de CGI, da CAPES pela bolsa de estudo, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) pela infraestrutura e disponibilidade de laboratório, aos quais os autores são muito gratos.

6. REFERÊNCIAS

- da Silva, F.M.A. 2015. Estudo da utilização de ferramentas a base de nitreto de silício (Si_3N_4) e alumina (Al_2O_3) na usinagem do ferro fundido vermicular. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Estadual Paulista – UNESP. 64 p.
- da Silva, L.R.R.; Filho, A.F.; Costa, E.S.; Pico, D.F.M.; Sales, W.F.; Guessier, W.L.; Machado, A.R. 2018. Cutting Temperatures in End Milling of Compacted Graphite Irons. *Procedia Manufacturing*. Vol.26. Pages 474-484.
- de Souza, J.A.G.; Sales, W.F.; Machado, Á.R., 2018. “A review on the machining of cast irons”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. V. 94, Pages 4073 – 4092.
- dos Reis, A. 2019. Fresamento frontal de ferros fundidos de alta resistência. Tese de doutorado, Universidade Federal de Uberlândia – UFU. 172 p.
- Hao, G.; Liu, Z.; Liang, X.; Zhao, J. 2019. Influences of TiAlN Coating on Cutting Temperature during Orthogonal Machining H13 Hardened Steel. *Coatings*. Vol. 9.
- Leônidas, E.; Ayvar-Soberanis, S.; Laalej, H.; Fitzpatrick, S.; Willmott, J.R. 2022. A Comparative Review of thermocouple and infrared radiation temperature measurement methods during the machining of metals. *Sensors*. Vol.22
- Liu, Y.; Li, Y.; Xing, J.; Wang, S.; Zheng, B.; Tao, D.; Li, W. 2018. Effect of graphite morphology on the tensile strength and thermal conductivity of cast iron. *Materials Characterization*. V.144. Pages 155-165.
- Malakizadi, A.; Ghasemi, R.; Behring, C.; Olofsson, J.; Jarfors, A.E.W.; Nyborg, L.; krajnik, P. 2018. Effects of workpiece microstructure, mechanical properties and machining conditions on tool wear when milling compacted graphite iron. *Wear* 410 - 411. Pages 190-201.
- Martínez, E.G.; Martínez, A.M.; Tendaro, M.C.M.; Eguía, V.M. 2022. Proposal of a combined experimental-simulation methodology for the evaluation of machining temperature in turning processes. *Measurement*. Vol. 189
- Zhao, J.; Liu, Z.; Wang, B.; Hu, J.; Wan, Y. 2021. Tool coating effects on cutting temperature during metal cutting processes: Comprehensive review and future research directions. *Mechanical Systems and Signal Processing*. Vol. 150.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

STUDY OF TEMPERATURE BEHAVIOR IN THE DRILLING OF COMPACT GRAPHITE IRON CGI 500

Fábio Rüstow de Paula
Álison Rocha Machado

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) R. Imaculada Conceição, 1155 - Prado Velho, Curitiba - PR, 80215-901
fabio.rustow@pucpr.edu.br , alisson.rocha@pucpr.br

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Universidade Federal de Uberlândia (UFU) Av. João Naves de Ávila, 2121 - Santa Mônica, Uberlândia - MG, 38408-100
leorrs@ufu.br

Neider Oliveira Soares

Gühring Brasil Av. Tranquillo Giannini, 1051 - Distrito Industrial, Salto - SP, 13329-600
neider.soares@guhning-brasil.com

Renan Ednan Flores

Tupy S.A. R. Albano Schmidt, 3400 - Zona Industrial Tupy, Joinville - SC, 89205-100
renan.flores@tupy.com.br

Abstract: *The superior mechanical properties of vermicular cast iron (CGI) compared to gray cast iron make its use for the manufacture of some components very interesting, mainly in combustion engine blocks, where customers are constantly looking for engines with greater efficiency. However, its lower machinability implies challenges in the production line. To increase productivity, it is common that cutting parameters are optimized, however, increasing the cutting speed and/or the feed rate can affect the temperature during the machining process. However, if the temperature rise is excessive, this can result in metallurgical changes in the work material, as well as reduce tool life and possible catastrophic failure. Ceramic coatings reduces friction and protect the cutting tool from high temperatures, among other attributes. The present work investigates the influence of the cutting parameters and flank wear of the cutting tool on the workpiece temperature. Coated carbide drills (TiN + TiAlN, TiSiN + TiAlN and TiAlSiN) were used in the dry drilling of the CGI 500, using a (2^k) factorial planning with mild and severe cutting conditions. In some tests, drills without coatings were also used for comparisons. Using (T) type thermocouples in three measuring positions along the hole, the intermediate position reached the highest temperature. Among the conditions tested, with the drill in new state (no wear), the tests with the highest cutting speed and feed rates were those that developed the lowest temperatures. The flank wear influences the temperature, especially at high levels of wear. With the drill in new condition, it was possible to certify that the coated drills had lower temperatures than uncoated ones.*

Keywords: *Workpiece temperature; Drilling; Cutting parameters; Coated tool; Tool wear*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsables for the printed material included in this paper.