

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE CALORÍMETRO PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA E CALOR EM USINAGEM

Marcos Douglas Silva, LEPU - UFU, macnyt@hotmail.com

Ivanilson Sousa da Costa, LEPU - UFU, ivanilsonsousacosta@hotmail.com

Márcio Bacci da Silva, LEPU - UFU, mbacci@mecanica.ufu.br

Resumo. O objetivo deste trabalho foi projetar e construir um calorímetro de água para estabelecer a relação entre a energia mecânica despendida e o calor gerado em processo de furação de ferro fundido cinzento. O calorímetro de água foi constituído de dois recipientes cilíndricos coaxiais, o externo de Technyl® e o interno de PVC (Policloreto de Vinil). Entre os dois recipientes foi adicionado poliestireno expandido (Isopor®) em pedaços para isolamento térmica. Termopares foram utilizados para medição das temperaturas e dinamômetro rotativo para medição de torque. A ferramenta de corte foi uma broca de aço rápido revestida de TiN com 10 mm de diâmetro. Os resultados mostraram que o calorímetro proposto obteve um bom desempenho na avaliação do calor gerado em furação de ferro fundido cinzento.

Palavras chave: calorímetro, calor, furação.

1. INTRODUÇÃO

É sabido que as fontes geradoras de calor no processo de usinagem são: a deformação e o cisalhamento do cavaco no plano de cisalhamento, o atrito do cavaco com a superfície de saída da ferramenta e o atrito na interface de contato da peça com a superfície de folga da ferramenta (Diniz; Marcondes; Coppini, 2008; Machado *et al.*, 2011). Muitos trabalhos na literatura sugerem que este calor gerado representa grande parte da energia total consumida no corte. Segundo Ferraresi (1970), cerca de 87 % a 90 % do trabalho de usinagem se transforma em calor. A partição deste calor gerado, entre cavacos, peça e ferramenta de corte, também é uma informação importante, dependente das configurações do sistema, do processo de usinagem, da condutividade térmica da peça e da ferramenta de corte, das condições de corte empregadas (Ferraresi, 1970).

Um dos métodos experimentais utilizados para medição de temperatura e calor em usinagem é o método calorimétrico. Sua metodologia consiste em confinar os fenômenos de geração de calor em usinagem no interior de um calorímetro. O objetivo deste trabalho foi projetar e construir um calorímetro de água para medição da quantidade de calor gerado durante a furação e compará-lo à energia mecânica total despendida no processo de furação de ferro fundido cinzento.

2. METODOLOGIA

Denomina-se calorímetro um sistema fechado que não permite trocas de calor com o ambiente, todas as trocas de calor ocorrem no interior do calorímetro. Para fins de isolamento térmica, o calorímetro deve ser construído ou revestido por um material com característica térmica isolante, para evitar que ocorram perdas de calor para o meio externo.

O calorímetro de água proposto para medições de calor em usinagem consistiu de dois recipientes cilíndricos coaxiais encaixados entre si, o externo de Technyl® e o interno de PVC (Policloreto de Vinil). O recipiente externo foi usinado com um rebaixo para inserção do recipiente interno que, por sua vez, foi usinado com um rebaixo para inserção do corpo de prova. Entre os dois recipientes foi adicionado poliestireno expandido em pedaços (Isopor®) para isolamento térmica. A tampa do calorímetro, construída de Technyl®, acopla-se ao recipiente interno do calorímetro pelo seu ressalto, fixada ao recipiente externo do calorímetro por seis parafusos Allen com cabeça M4 x 10 mm, ver Tab. (1) e Fig. (1).

Tabela 1. Dimensões dos componentes do calorímetro de água.

Componente	Diâmetro externo (mm)	Diâmetro interno (mm)	Diâmetro do rebaixo (mm)	Altura (mm)
Recipiente externo (Technyl®)	150	120	95	66
Recipiente interno (PVC)	95	60	16	55
Tampa (Technyl®)	150	-	60 ⁽¹⁾	5

⁽¹⁾: No caso da tampa, a característica é um ressalto.

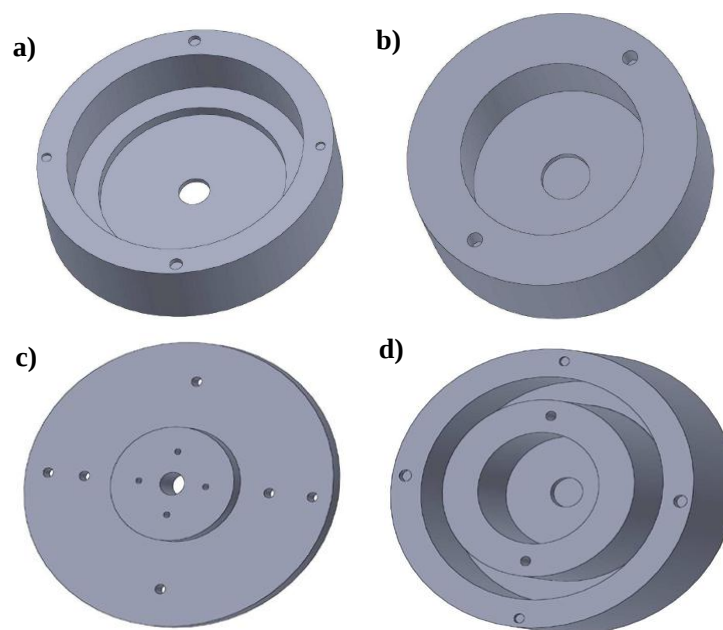


Figura 1. Componentes do calorímetro de água; a) recipiente externo de *Technyl*®; b) recipiente interno de PVC; c) visão inferior da tampa do calorímetro; d) os dois recipientes coaxiais encaixados constituem o calorímetro.

Os corpos de prova foram peças cilíndricas de ferro fundido cinzento com 16 mm de diâmetro e 30 mm de altura. Estes foram fixados no rebaixo do recipiente interno do calorímetro por parafuso Allen com cabeça M6 x 10 mm. No recipiente interno do calorímetro foi adicionado 90 ml de água deionizada (destituída de íons), Fig. (2).



Figura 2. Calorímetro de água com isolamento de poliestireno expandido. O corpo de prova é fixado por parafuso Allen com cabeça M6 x 10 mm. No interior do calorímetro foi adicionado 90 ml de água deionizada.

Sobre a tampa do calorímetro, foram usinados quatro orifícios de 1 mm para passagem dos termopares-padrão do tipo K responsáveis pela medição de temperatura no interior do calorímetro e um furo de 12 mm para passagem da broca durante a furação. O equipamento para medição de temperaturas foi uma unidade de aquisição, comutação e registro de dados *Agilent Technologies*® modelo 34970A comandado por computador pelo programa *Agilent BenchLink Data Logger 3*.

A temperatura inicial e a temperatura final da água no interior do calorímetro são registradas para cálculo do calor trocado no interior do calorímetro (Q), através da Equação Fundamental da Calorimetria, Eq. (1):

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

Onde m representa a massa de água (g) no calorímetro, c é o calor específico da água (1,0 cal/g.°C) e ΔT é a variação de temperatura da água (°C).

Para medição dos esforços de furação foi utilizado dinamômetro rotativo *Kistler*[®] modelo 9123 C1211, com condicionador de sinal de multicanal *Kistler*[®] modelo 5223131. O dinamômetro foi fixado no mandril da máquina, transmitindo os sinais de torque por telemetria. A máquina-ferramenta utilizada foi um Centro de Usinagem *Romi*[®] modelo *Discovery CNC 760*, ver Fig. (3).

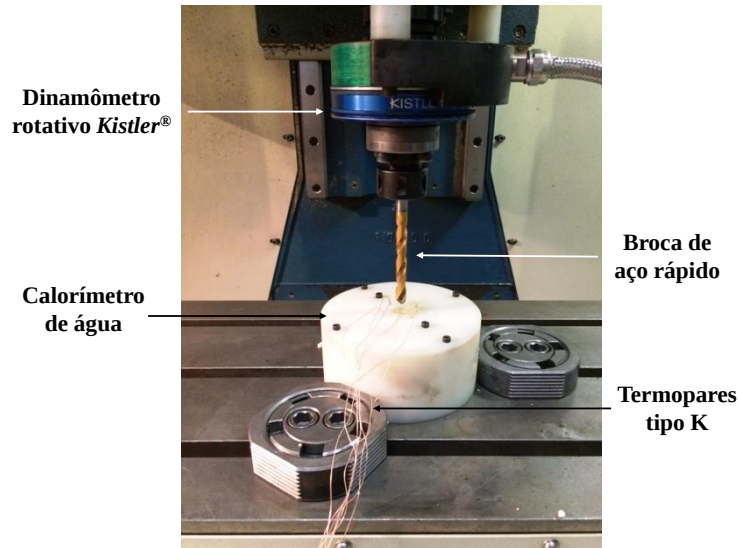


Figura 3. Montagem experimental para aquisição de temperaturas no calorímetro e torque na furação com dinamômetro rotativo.

A medição do torque foi utilizada para avaliação da energia consumida (E_{tot}) em todo processo de usinagem, Eq. (2):

$$E_{tot} = \frac{\pi \cdot \tau \cdot a_f}{f} \quad (2)$$

Onde τ representa o torque (N.m), a_f é a profundidade do furo (mm) e f é o avanço (mm/revolução). Foram realizados sete experimentos, as condições de corte e características destes ensaios estão na Tab. (2).

Tabela 2. Parâmetros e características dos sete experimentos realizados.

Ferramenta de corte	Broca de aço rápido revestida de TiN
Diâmetro da ferramenta (D)	10,0 mm
Rotação (n)	955 rpm
Velocidade de corte (v_c)	30,00 m/min
Avanço (f)	0,13 mm/revolução
Profundidade do furo (a_f)	15,0 mm

3. RESULTADOS

A Figura (4) apresenta o comportamento de temperatura da água para o experimento 1. Pode-se dividir o gráfico em três regiões: antes da usinagem, durante a usinagem e após a usinagem. A temperatura anterior a usinagem foi tomada como temperatura inicial (T_i). Após a usinagem, esperou-se o equilíbrio térmico do sistema calorímetro-peça-ferramenta-cavacos por 15 min ($t_{eq} = 900$ s). Após este tempo de espera, a temperatura registrada foi tomada como temperatura final do sistema (T_f). O comportamento dos demais experimentos foi análogo.

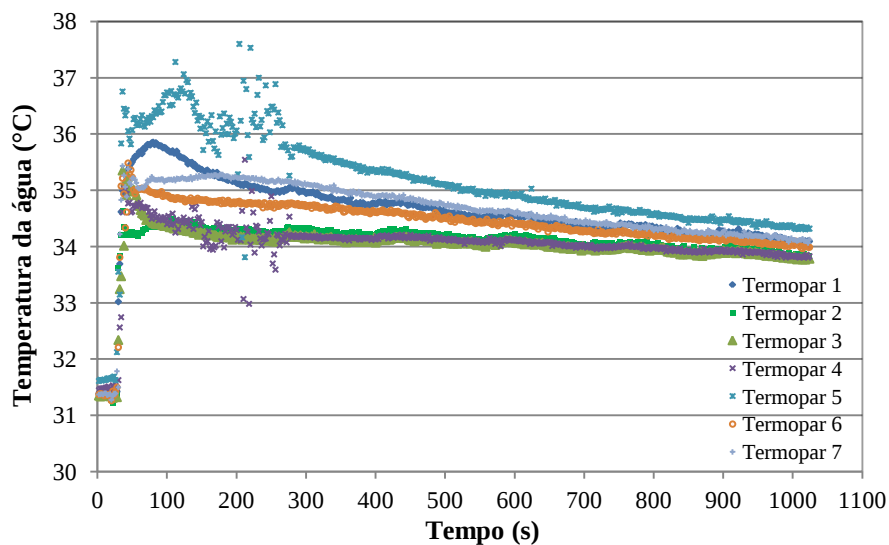


Figura 4. Variação de temperatura da água durante o experimento 1.

A Figura (5) apresenta o comportamento do torque da broca para o experimento 1. Pode-se dividir o gráfico em três regiões: antes da usinagem, durante a usinagem e após a usinagem. O torque (τ) foi avaliado através da média aritmética dos valores registrados durante a usinagem. O comportamento dos demais experimentos foi análogo.

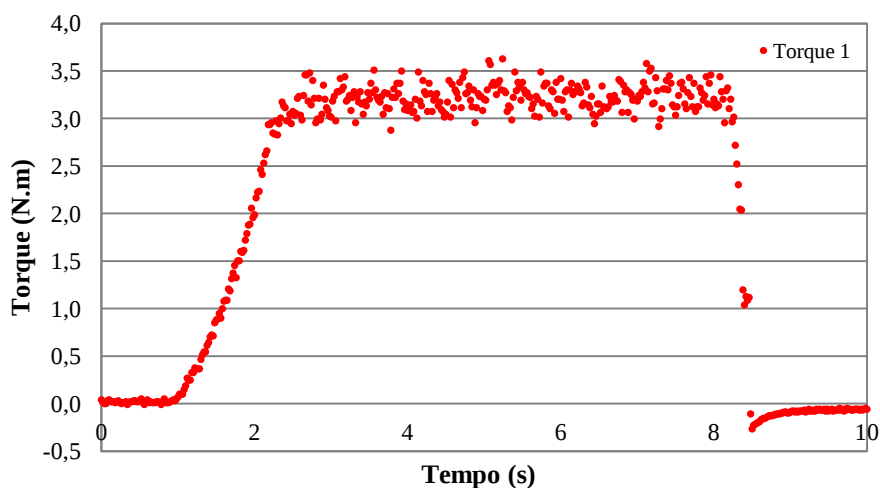


Figura 5. Variação do torque durante o experimento 1.

Relacionando a energia total com o calor gerado através da Eq. (1) e da Eq. (2), obtém-se a porcentagem de energia transformada em calor no processo de furação do ferro fundido cinzento, ver Tab. (3).

Tabela 3. Resultados obtidos para porcentagem da energia total transformada em calor.

Experimento	Energia total E_{tot} (kJ)	Calor gerado Q (kJ)	Porcentagem de geração de calor (%)
1	1,169	0,962	82,3
2	1,172	1,135	96,8
3	1,179	1,070	90,8
4	1,171	1,073	91,6
5	1,167	1,126	96,5
6	1,169	1,139	97,4
7	1,168	1,162	99,5

4. CONCLUSÕES

A literatura diz que cerca de 87 % a 90 % da energia despendida em usinagem é transformada em calor (Ferraresi, 1970). Considerando que os experimentos foram realizados à velocidade de corte de 30 m/min, os experimentos 1, 3 e 4 apresentaram dados mais próximos da literatura, já os experimentos 2, 5, 6 e 7 apresentaram valores acima de 95 %, indicando erros de medição do sistema, que devem ser quantificados e minimizados. Contudo, o calorímetro de água projetado e construído mostrou-se conveniente para avaliação da quantidade de calor gerada em usinagem.

5. REFERÊNCIAS

- Diniz, A. E., Marcondes, F. C., Coppini, N. L., 2008, “Tecnologia da Usinagem de Materiais”, São Paulo, Artliber, 6ª ed., 262 p.
- Ferraresi, D., 1970, “Fundamentos da Usinagem dos Metais”, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 751 p.
- Machado, Á. R., Abrão, A. M., Coelho, R. T., Da Silva, M. B., 2011, “Teoria da Usinagem dos Materiais”, São Paulo: Blucher, 2ª ed., 397 p.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo apoio financeiro às pesquisas do Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU-UFU).

7. ABSTRACT

The objective of this study was to design and to build a calorimeter to establish the relationship between the mechanical energy expended and heat generated in gray cast iron drilling process. The calorimeter was made up of two coaxial cylindrical containers, the external Technyl® and internal PVC (Polyvinyl Chloride). Between the two containers expanded polystyrene (Isopor®) was added in pieces for thermal isolation. Thermocouples were used to measure the temperatures and dynamometer for measuring torque. The cutting tool is a high speed steel drill TiN-coated with 10 mm diameter. The results showed that the proposed calorimeter obtained a good performance in the evaluation of the heat generated in gray cast iron drilling process.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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